



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN  
PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE LA PRESA CCOSAMA,  
HAQUIRA - COTABAMBAS - APURIMAC**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WILBER ROBERTS APAZA PALOMINO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE LA PRESA CCOSAMA, HAQUIRA - COTABAMBAS - APURIMAC**

AUTOR

**WILBER ROBERTS APAZA PALOMINO**

RECuento de palabras

**22625 Words**

RECuento de caracteres

**125733 Characters**

RECuento de páginas

**197 Pages**

Tamaño del archivo

**15.9MB**

Fecha de entrega

**Nov 21, 2023 2:07 PM GMT-5**

Fecha del informe

**Nov 21, 2023 2:10 PM GMT-5**

### ● 13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

V°B°

Firmado digitalmente por  
PALOMINO ASCENCIO Leonel  
FAU 20145496170 hard  
Motivo: Doy V°B°  
Fecha: 21.11.2023 14:29:38 -05:00

Universidad  
Nacional  
del Altiplano



Firmado digitalmente por PALOMINO  
ASCENCIO Leonel FAU  
20145496170 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 21.11.2023 14:22:33 -05:00



## DEDICATORIA

*Dedicado a Dios por brindarme sabiduría, salud y oportunidad de crecer personal y profesional. A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía. A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. Finalmente quiero dedicarle a mi prometida por brindarme cariño, amor, comprensión y apoyo a lo largo de mi formación profesional.*

*¡Gracias por confiar en mí!*

**Wilber Roberts Apaza Palomino**



## AGRADECIMIENTO

*Expresar mi profundo y sincero agradecimiento a:*

*Dios Padre todo poderoso por brindarme salud, fortaleza, sabiduría para tomar decisiones correctas hasta el día de hoy y ser la luz que guía mi camino en la adversidad.*

*A mi querida madre Nicolasa, mi querido padre Luis, mis maravillosos hermanos Fredy, Marco, Rony, Ronal y hermana Deysi, a ellos por su apoyo constante y ser motivo de mi superación personal y profesional.*

*A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano y la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica que me acogieron durante 5 años de formación profesional, a mis maestros, los ingenieros Rolando Campos, Flavio Rosado, Roberto Zegarra, Luis Ortiz, Dany Alave, Luis Maydana y También a mis compañeros del código 2013-II con quienes compartí experiencias y conocimientos que me ayudaron en mi vida personal y profesional.*

*A M. Sc, Leonel Palomino Ascencio, por ser parte de este trabajo de investigación en calidad de asesor y por sus valiosos consejos, tiempo y ayuda para completar el objetivo.*

*A la empresa EMA Ingenieras EIRL, donde desempeñé mis funciones profesionales y por las capacitaciones, también quiero expresar mi agradecimiento por permitirme acceder a información para la investigación y por acercarme a excelentes profesionales como Ing. Irina Suarez.*

*A mis maestros de la empresa SHOUKAN – Minera Shougang Hierro Perú, por compartir sus conocimientos cada día, los ingenieros David Carrasco, Omar Huamani, Rafael Chuctaya, Miguel Chique, Franz Zumaran, Jordan Gómez y compañeros de trabajo.*

*A mis compañeros y amigos de toda la vida, con quienes he desarrollado fuertes lazos de amistad y hermandad.*

**Wilber Roberts Apaza Palomino**



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**INDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT ..... 18**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 ANTECEDENTES ..... 19**

**1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 22**

**1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 23**

1.3.1 Problema general ..... 23

1.3.2 Problemas Específicos. .... 23

**1.4 HIPÓTESIS ..... 24**

1.4.1 Hipótesis General ..... 24

1.4.2 Hipótesis Especifico ..... 24

**1.5 OBJETIVOS ..... 24**

1.5.1 Objetivo General ..... 24

1.5.2 Objetivos específicos ..... 24

**1.6 JUSTIFICACIÓN ..... 25**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**



<b>2.1</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1.1	Presa.....	26
2.1.1.1	Tipos de Presa .....	26
2.1.1.2	Factores importantes en la selección del tipo de presa .....	27
2.1.1.3	Función de las Presas .....	28
2.1.1.4	Factor de seguridad .....	28
<b>2.2</b>	<b>PRESA DE ENROCADO.....</b>	<b>29</b>
2.2.1	Presas de enrocado con membrana impermeable .....	30
2.2.1.1	Componentes principales de una presa de enrocado.....	30
2.2.2	Embalse.....	31
2.2.3	Vaso .....	32
2.2.4	Cimentación de la presa.....	32
<b>2.3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES .....</b>	<b>33</b>
2.3.1	Terreno de fundación .....	33
2.3.2	Granulometría .....	34
2.3.3	Graduación.....	35
2.3.4	Forma .....	36
2.3.5	Plasticidad.....	37
2.3.6	Estructura .....	37
2.3.7	Límite líquido (LL).....	38
2.3.8	Límite Plástico (LP).....	38
2.3.9	Índice de plasticidad .....	39
2.3.10	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) .....	40
<b>2.4</b>	<b>ENSAYOS DE PERMEABILIDAD.....</b>	<b>42</b>
2.4.1	Tipo Lugeon.....	42



2.4.2	Tipo Lefranc .....	44
2.4.2.1	Lefranc a nivel variable.....	45
2.4.2.2	Lefranc a nivel constante .....	46
<b>2.5</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>48</b>
2.5.1	Ensayo de corte directo.....	48
2.5.2	Análisis granulométrico .....	48
2.5.3	Determinación de los límites de Atterberg .....	49
2.5.4	Contenido de Humedad .....	49
<b>2.6</b>	<b>MÉTODOS DE LA SÍSMICA PARA LA GENERACIÓN DE ONDA SUPERFICIAL.....</b>	<b>50</b>
2.6.1	Método de Refracción Sísmica .....	51
2.6.2	Método Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 2D).....	52
<b>2.7</b>	<b>MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA .....</b>	<b>53</b>
2.7.1	Método de Tomografía Eléctrica. ....	54
<b>2.8</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>55</b>
2.8.1	La cerrada .....	55
2.8.2	Taludes.....	55
2.8.3	Bordo Libre.....	56
2.8.4	Los estribos .....	56
2.8.5	La cimentación.....	56
2.8.6	El aliviadero .....	57
2.8.7	Las compuertas .....	57
2.8.8	El desagüe de fondo .....	57
2.8.9	Núcleo impermeable .....	57

### CAPÍTULO III



## MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>58</b>
3.1.1	Tipo de investigación .....	58
<b>3.2</b>	<b>ETAPA Y REVISIÓN, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>58</b>
<b>3.3</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATO .....</b>	<b>59</b>
3.3.1	Cartografiado del área de estudio .....	59
3.3.2	Refracción sísmica .....	60
3.3.3	Ensayos de MASW 1D y2D .....	61
3.3.4	Tomografía Eléctrica .....	62
3.3.5	Perforación diamantina .....	64
3.3.6	Excavaciones de calicatas .....	65
3.3.7	Análisis de laboratorio de mecánica de suelos .....	67
3.3.8	Ensayos de laboratorio .....	68
<b>3.4</b>	<b>TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>68</b>
<b>3.5</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS .....</b>	<b>68</b>

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3</b>	<b>CLIMA .....</b>	<b>71</b>
<b>4.4</b>	<b>FISIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>4.5</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>
4.5.1	Grupo barroso .....	72
3.1.1	Depósitos Resientes .....	73
<b>4.6</b>	<b>GEOLOGIA LOCAL .....</b>	<b>75</b>





4.6.1	Complejo volcánico Malmanya (NQ-ma/tbc.bi/pg)	75
4.6.2	Depósitos Morrénicos	76
4.6.3	Depósitos Fluvioglaciares/Aluviales	76
4.6.4	Depósitos cuaternarios (Quilmo)	76
<b>4.7</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	<b>76</b>
4.7.1	Montaña con roca volcánica (MR-rv)	77
4.7.2	Colina en roca volcano-sedimentaria (RC-rvs)	77
4.7.3	Valle glaciar (VII-gl)	77
4.7.4	Morrenas (Mo)	77
4.7.5	Vertiente o piedemonte coluvial-diluvial (VII-gl)	78
<b>4.8</b>	<b>RIESGO GEOLÓGICO</b>	<b>78</b>
4.8.1	Movimiento de masas	78
<b>4.9</b>	<b>SISMICIDAD</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>		
<b>5.1</b>	<b>CONDICIONES GEOLÓGICAS DE TERRENO DE FUNDACIÓN PARA CIMENTACION DE PRESA</b>	<b>81</b>
5.1.1	Condiciones geológicas	81
<b>5.2</b>	<b>PARAMETROS GEOTÉCNICAS DE LA PRESA CCOSAMA - HAQUIRA</b>	<b>85</b>
5.2.1	Investigación geofísica	85
5.2.2	Perforación diamantina	92
5.2.3	Características geotécnicas del eje y vaso de la presa	100
<b>5.3</b>	<b>DISCUSION</b>	<b>124</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>126</b>



<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>128</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>133</b>

**Área:** 24 de noviembre del 2023

**Tema:** 24 de noviembre del 2023

**Fecha de sustentación:** 24 de noviembre del 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura N° 1</b> Ejemplo de curva granulométrica (Angelone & Garibay ( 2006) .....	35
<b>Figura N° 2</b> Formas de partículas de suelo (Gonzales y Robles, 2004).....	36
<b>Figura N° 3</b> Tipos de estructuras en suelos.....	37
<b>Figura N° 4</b> Carta de plasticidad de A. Casagrande (Casgrande, 1948).....	39
<b>Figura N° 5</b> Esquema de ensayo Lugeon (Gonzáles de Vallejo, 2002).....	44
<b>Figura N° 6</b> Esquema del ensayo Lefranc a nivel variable <a href="http://hidrología.usal.es,">http://hidrología.usal.es,</a> 2011.....	46
<b>Figura N° 7</b> Esquema del ensayo Lefranc a nivel constante ( <a href="http://hidrología.usal.es,">http://hidrología.usal.es,</a> 2011) .....	47
<b>Figura N° 8</b> Pasos para los métodos de ondas superficiales (Strobbia, 2003).....	50
<b>Figura N° 9</b> Esquema de la propagación de la Onda Refractada (Strobbia, 2003).....	51
<b>Figura N° 10</b> Sismograma de un tendido sísmico de 24 geófonos (Strobbia, 2003) ....	52
<b>Figura N° 11</b> Principio del método resistivo, dispositivo electrónico lineal (cuadripolar). (Knödel & Jürgen, 2007).....	54
<b>Figura N° 12</b> Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica para un arreglo dipolodipolo. (Chávez, 2011) .....	55
<b>Figura N° 13</b> Ubicación de puntos de refracción sísmica y tomografía eléctrica.....	62
<b>Figura N° 14</b> Representación del equipo instalado para adquirir la información de campo. ....	64
<b>Figura N° 15</b> Ubicación de los sondajes diamantinos.....	65
<b>Figura N° 16</b> Vista del ensayo de Lefranc .....	65
<b>Figura N° 17</b> Ubicación de calicatas realizadas en el vaso y eje de presa .....	66
<b>Figura N° 18</b> Excavación de calicatas realizadas en el in-situ.....	67



<b>Figura N° 19</b> Ensayos de laboratorio de suelos .....	68
<b>Figura N° 20</b> Afloramientos rocosos del complejo Malmanya .....	75
<b>Figura N° 21</b> Complejo volcánico de Malmanya.....	82
<b>Figura N° 22</b> Fotografía del área de estudio .....	82
<b>Figura N° 23</b> Deposito coluvies, calicata en el eje de la presa .....	83
<b>Figura N° 24</b> Depósitos morrénicos del área de estudio .....	84
<b>Figura N° 25</b> Geología local de área de estudio.....	84
<b>Figura N° 26</b> Distribución de capas de las velocidades de ondas P para la LS-01 .....	86
<b>Figura N° 27</b> Distribución de capas de las velocidades de ondas P para la LS-02.....	87
<b>Figura N° 28</b> Distribución de capas de las velocidades de ondas P para la LS-03 .....	87
<b>Figura N° 29</b> Sección de MASW 2D para la LS-01 .....	88
<b>Figura N° 30</b> Velocidad de onda S de la línea sísmica LS -02 .....	89
<b>Figura N° 31</b> Velocidad de onda S de la línea sísmica LS -03 .....	89
<b>Figura N° 32</b> Sección de tomografía eléctrica LT-01. ....	91
<b>Figura N° 33</b> Sección de tomografía eléctrica LT-02 .....	91
<b>Figura N° 34</b> Muestra de sondajes diamantinos.....	95
<b>Figura N° 35</b> Perfil litoestratigráfica en el eje de la presa de SE-NW.....	95
<b>Figura N° 36</b> Registro de perforación diamantina sondaje P-01. ....	96
<b>Figura N° 37</b> Registro de perforación diamantina sondaje P-02. ....	97
<b>Figura N° 38</b> Registro de perforación diamantina sondaje P-03. ....	98
<b>Figura N° 39</b> Registro estratigráfico de la calicata C-01 .....	103
<b>Figura N° 40</b> Fotografía de la Calicata C-01 .....	104
<b>Figura N° 41</b> Registro estratigráfico de la calicata C-02 .....	105



<b>Figura N° 42</b>	Fotografía Calicata C-02 .....	106
<b>Figura N° 43</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-03 de la presa .....	107
<b>Figura N° 44</b>	Fotografía Calicata C-03 de la presa .....	108
<b>Figura N° 45</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-04 de la presa .....	109
<b>Figura N° 46</b>	Fotografía de Calicata C-04 .....	110
<b>Figura N° 47</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-05 de la presa .....	112
<b>Figura N° 48</b>	Fotografía Calicata C-05 de la presa .....	112
<b>Figura N° 49</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-06 de la presa .....	114
<b>Figura N° 50</b>	Fotografía de Calicata C-06 .....	114
<b>Figura N° 51</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-07 de vaso de presa .....	116
<b>Figura N° 52</b>	Fotografía de Calicata C-07 .....	116
<b>Figura N° 53</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-08 .....	118
<b>Figura N° 54</b>	Fotografía de Calicata C-08 .....	118
<b>Figura N° 55</b>	Registro estratigráfico de la calicata C-09 .....	120
<b>Figura N° 56</b>	Fotografía de Calicata C-09 .....	120



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Aberturas de mallas de la serie americana (A.S.T.M.) .....	34
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de suelos S.U.C.S.....	41
<b>Tabla 3.</b> Acceso al área de estudio vía terrestre .....	71
<b>Tabla 4</b> Ubicación de las líneas sísmicas .....	85
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de las líneas MASW2D (LS-01) y MASW1D (LS-02 y LS-03) .....	90
<b>Tabla 6</b> Ubicación de líneas tomográficas de la tomografía eléctrica .....	90
<b>Tabla 7.</b> Coordenadas de la perforación.....	93
<b>Tabla 8</b> Caracterización de los Materiales en los Sondajes .....	94
<b>Tabla 9.</b> Resumen de los ensayos de permeabilidad mediante prueba Lefranc en los sondeos.....	99
<b>Tabla 10.</b> Resultados de ensayos de permeabilidad de la prueba de Lugeon de los sondajes.....	100
<b>Tabla 11.</b> Calicatas realizadas en eje y vaso de la presa .....	101
<b>Tabla 12.</b> Factores de capacidad de carga.....	102
<b>Tabla 13.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-01 .....	104
<b>Tabla 14.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-01 .....	104
<b>Tabla 15.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-02 .....	106
<b>Tabla 16.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-02.....	106
<b>Tabla 17.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-03 .....	108
<b>Tabla 18.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-03.....	108
<b>Tabla 19.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-04 .....	110
<b>Tabla 20.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-04.....	110



<b>Tabla 21.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-05 .....	112
<b>Tabla 22.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-05 .....	113
<b>Tabla 23.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-06 .....	114
<b>Tabla 24.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-06.....	115
<b>Tabla 25.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-07 .....	116
<b>Tabla 26.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-07 .....	117
<b>Tabla 27.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-08 .....	118
<b>Tabla 28.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-08.....	119
<b>Tabla 29.</b> Resultados de ensayo de la Calicata C-09 .....	121
<b>Tabla 30.</b> Cálculo de la capacidad admisible C-09.....	121
<b>Tabla 31.</b> Resumen general de los resultados de ensayos de clasificación de suelos de las calicatas .....	122
<b>Tabla 32.</b> Valores para el cálculo de la capacidad admisible del terreno .....	123



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>A.S.T.M.</b>	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para meteriales)
<b>CDP.</b>	Concepto de reflectancia sísmica
<b>CMP.</b>	Punto central común
<b>CMPPC.</b>	Análisis de correlación cruzada de punto común
<b>IP.</b>	Indice de plasticidad
<b>K.</b>	Coeficeinte de permeabilidad
<b>Kg/cm2.</b>	Kilometros por centímetros cuadrados
<b>LL.</b>	Límite líquido
<b>LP.</b>	Límite Plástico
<b>LS.</b>	Lineas Sísmicas
<b>m/s.</b>	Metros por segundos
<b>MASW.</b>	Análisis de ondas superficiales multicanal
<b>NTP.</b>	Norma Técnica Peruana
<b>PI.</b>	Indice de rendimiento
<b>SENAMHI.</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>SUCS.</b>	Sistema unificado de clasificación de suelos.
<b>Vp.</b>	Velocidad de ondas P
<b>Vs.</b>	Velocidad de ondas S





## RESUMEN

El trabajo de investigación se encuentra ubicada en el distrito de Haqira, provincia de Cotabambas y departamento de Apurímac, tiene como objetivo evaluar las características geotécnicas y dinámica del terreno de fundación, a partir de Calicatas realizadas en el terreno de Fundación destinado para el diseño de cimentación de la Presa, se utilizó una metodología con enfoque cuantitativo y cualitativo tipo de investigación descriptivo, donde se desarrolló la evaluación geotécnica del terreno, se identificó las siguientes unidades geológicas, el complejo volcánico Malmanya, así como depósitos morrénicos, depósitos cuaternarios, depósitos coluviales y depósitos fluvio-glaciares. La Presa Ccosama está ubicada dentro los depósitos morrenicos, de origen glaciar (gravas <3 pulgadas, arenas-limos con bloques), seguido de rocas volcánicas tobas, no presentan índices de plasticidad, por ello no son suelos expansivos. Los ensayos granulométricos según clasificación SUCS de la presa corresponden arenas y limos con gravas (SM-SP-SW), en el lado derecho de la presa, capacidad portante del terreno es de 9.09 kg/cm<sup>2</sup>. Pero aplicando el factor de seguridad (3) se obtiene  $Q_{ad} = 3.03 \text{ kg/cm}^2$ . En el valle de la presa la capacidad portante es de 8.48 kg/cm<sup>2</sup>. Pero aplicando el factor de seguridad (3) se obtiene  $Q_{ad} = 2.83 \text{ kg/cm}^2$ . En el lado izquierdo de la presa presenta una capacidad admisible de 10.77 kg/cm<sup>2</sup>, pero aplicando el factor de seguridad (3) tenemos que  $Q_{ad} = 3.59 \text{ kg/cm}^2$  un ángulo de fricción promedio de 33°, cohesión 0.00 kg/cm<sup>2</sup>, Las velocidades de propagación de ondas sísmicas LS-01  $V_p$  están de 560,0 m/s a 1890,0 m/s, LS-02 las velocidades de onda  $V_p$  están de 545,0 m/s a 1715,0 m/s y las velocidades ondas  $V_s$  varia 298,0 m/s a 360,0 m/s coeficiente de poisson 0.29 a 0.48  $\mu$ , LS-03 las velocidades de onda  $V_p$  están de 550,0 m/s a 1700,0 m/s y las velocidades ondas  $V_s$  varia 265,0 m/s a 365,0 m/s coeficiente de poisson 0.35 a 0.48, en los sondajes diamantinos P-01, P-02 y P-03 se encuentra el nivel freático a una profundidad de 19.40 m, 5.12 m y 10.40 m respectivamente, la permeabilidad de los suelos en los sondajes llega 3.48E-05 cm/s, 2.06E-05 cm/s y 2.12E-05 cm/s, según pruebas de lefranc. El terreno es geotécnicamente favorable para la cimentación de la presa Ccosama-Haqira.

**Palabras claves:** Caracterización geotécnica, Terreno de fundación, Capacidad admisible, Permeabilidad, Geofísica.



## ABSTRACT

The research work is located in the district of Haquira, province of Cotabambas and department of Apurímac, its objective is to evaluate the geotechnical characteristics and dynamics of the foundation land, based on Calicatas carried out on the Foundation land intended for the design of foundation of the Dam, a methodology with a quantitative and qualitative approach was used, a type of descriptive research, where the geotechnical evaluation of the terrain was developed, geological units were identified, such as the Malmanya volcanic complex, as well as moraine deposits, quaternary deposits, colluvial deposits and fluvio-glacial deposits. The Ccosama Dam is located within moraine deposits, of glacial origin (gravel <3 inches, sand-silt with blocks), followed by tuff volcanic rocks, which do not present plasticity indices, which is why they are not expansive soils. The granulometric tests according to the SUCS classification of the dam correspond to sand and silt with gravel (SM-SP-SW), on the right side of the dam, the bearing capacity of the soil is 9.09 kg/cm<sup>2</sup>. But applying the safety factor (3) we obtain  $Q_{ad} = 3.03$  kg/cm<sup>2</sup>. In the valley of the dam the bearing capacity is 8.48 kg/cm<sup>2</sup>. But applying the safety factor (3) we obtain  $Q_{ad} = 2.83$  kg/cm<sup>2</sup>. On the left side of the dam it has an admissible capacity of 10.77 kg/cm<sup>2</sup>, but applying the safety factor (3) we have that  $Q_{ad} = 3.59$  kg/cm<sup>2</sup>, an average friction angle of 33°, cohesion 0.00 kg/cm<sup>2</sup>, The velocities LS-01  $V_p$  seismic wave propagation speeds are from 560.0 m/s to 1890.0 m/s, LS-02  $V_p$  wave speeds are from 545.0 m/s to 1715.0 m/s and  $V_s$  wave speeds varies 298.0 m/s to 360.0 m/s Poisson's coefficient 0.29 to 0.48  $\mu$ , LS-03 the wave speeds  $V_p$  are from 550.0 m/s to 1700.0 m/s and the wave speeds  $V_s$  varies 265, 0 m/s to 365.0 m/s Poisson coefficient 0.35 to 0.48, in the diamond drillings P-01, P-02 and P-03 the water table is found at a depth of 19.40 m, 5.12 m and 10.40 m respectively, The permeability of the soils in the drillings reaches 3.48E-05, 2.06E-05 and 2.12E-05, according to Lefranc tests. The terrain is geotechnically favorable for the foundation of the Ccosama-Haquira dam.

**Keywords:** Geotechnical characterization, Foundation land, Admissible capacity, Permeability, Geophysics.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Las presas son estructuras hechas por el hombre desde las primeras civilizaciones. Desde pequeñas construcciones, hasta actualmente se están construyendo grandes represas y estas estructuras están destinadas a brindar diversos beneficios a las personas, como retener agua para beber y regar, regular caminos y/o generar electricidad. Sin embargo, su potencial falla conlleva un alto riesgo, los daños físicos y ambientales que ocasiona, y sobre todo la pérdida de vidas.

Se han realizado varios estudios preliminares a nivel internacional y nacional para el estudio y construcción de presas, y estos estudios son la base para la evaluación e interpretación de las presas en el Perú. Es importante mencionar a los autores y los campos en los que trabajan, los cuales son:

(Herrera 2003) describe que las pruebas de laboratorio deben enfocarse en determinar la presencia de contaminantes asociados con la actividad productiva misma o con actividades adyacentes que, por su proximidad, pueden contaminar terrenos aguas arriba. Cuando entra en contacto con materia extraña en el área de estudio o punto de muestreo, los resultados del análisis de suelo pueden verse alterados.

(Nina, 2017), según su tesis, el análisis de la estabilidad de taludes de la presa, así como la zona de rotura de la presa, son de gran importancia. El mapeo geológico local, la prospección geofísica, la perforación diamantina, la excavación de pozos de prueba, las pruebas de permeabilidad in situ y las pruebas de laboratorio son algunos de los métodos utilizados para determinar el diseño de la geometría adecuada de la presa.



(Franco 2008), afirma que los estudios geotécnicos incluyen la realización de pruebas de filtración y experimentos de presión crítica; así como pruebas de eyección de rocas, en al menos dos lugares representativos del macizo rocoso existente en el área de la boca donde se construirá la presa; con el fin de poder obtener la información necesaria para poder determinar el diseño y especificaciones de los tratamientos de sellado o boquillas mayores que formarán el plano de sellado de la presa.

(Vega, 2017), en su tesis nos habla como **objetivo** Evaluar la geológica y geotécnica para el estudio de factibilidad de la construcción de la presa Totoraccocha. El valor de humedad de los suelos de las canteras es bajo, con una media del 5%, con una granulometría y clasificación de sucs. tiene una media del 5%, con una granulometría y clasificación de SUCS. Los suelos de las canteras tienen una densidad elevada, lo que los hace adecuados para rellenos, con una densidad seca de 2,06 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 13,5 g/cm<sup>3</sup>. La densidad seca es de 2,06 gr/cm<sup>3</sup> y el contenido de humedad es del 13,20%. Las pruebas de permeabilidad se realizan a una velocidad de  $3,998 \times 10^{-6}$  cm/seg. Por término medio, los suelos tienen un ángulo de fricción bajo, de 26,5, pero una cohesividad alta, de 0,4 kg/cm<sup>2</sup>. Por último, la concentración de elementos químicos es muy baja, con un valor de cloruros de 15 ppm. lecturas de cloruros de 15 ppm

(Apaza 2016), en su tesis dice que la actividad de programas de prospección, exploraciones encaminadas a descubrir fuentes de recursos nos lleva a desarrollar nuevas y mejores técnicas de prospección mediante métodos directos e indirectos y por ello la posibilidad de poder establecer modelos geológicos es de suma importancia en una etapa de exploración geológica.



(Ali Murillo, 2016), la tesis se basa en el análisis de ensayos de Refracción Sísmica, MASW, MAM, MASW 2D y Tomografía Eléctrica realizados como parte de una investigación geofísica para el examen de la regeneración de una presa de relaves en el distrito de Oyolo, Ayacucho. La velocidad de las ondas sísmicas en la tierra puede ser obtenida usando métodos de prospección sísmica y visualizada usando perfiles sísmicos 1D y 2D de velocidades de ondas longitudinales ( $V_p$ ) y velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ). Ambos procedimientos son activos, lo que significa que se utiliza una fuente de energía (martillo, peso, explosivo, etc.) para excitar el terreno, proporcionando la energía necesaria para alcanzar una profundidad de investigación suficiente en función de la magnitud del estudio. Adquirimos los valores de resistividad del terreno a lo largo de las líneas de prospección utilizando la prospección eléctrica, que se muestra en perfiles geoelectrónicos 2D. Este método consiste en inyectar corriente en la tierra y dejar que se propague por los estratos. Las lecturas pueden utilizarse para detectar las cualidades resistivas del material en varios puntos a lo largo de una línea a distintos niveles de profundidad, lo que da como resultado un perfil con valores de resistividad.

(Fano, 2018), en su tesis mención como objetivo principal es obtener los parámetros que servirán para determinar el tipo de cimentación que se utilizará para la construcción de un depósito de agua de 20.000 m<sup>3</sup> que abastecerá al barrio de Villa María del Triunfo. Los resultados se recogieron, mostraron y analizaron de acuerdo con los parámetros previstos en las normas. Se ofrecieron las propuestas de aplicación de la fundación. según el tipo de suelo predominante en el distrito. Según la prueba de granulometría, el sector 330 es de tipo Normal (86%), de tipo I-b Normal (11%) y de tipo semirrocoso (3%). La prueba de cizallamiento directo da como resultado una cohesividad de 0 kg/cm<sup>2</sup> y un ángulo de fricción interna de 30,20°. La prueba Proctor estándar determinó que el contenido de humedad ideal y la densidad seca eran de 14,30% y



14,30%, respectivamente. La densidad seca máxima es de 1,645 gr/cm<sup>3</sup> y el contenido de humedad máximo es de 14,30%.

(Ramirez & Ponce Centeno, 2020), estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Hayculli en la comunidad campesina de Quehuincha, distrito de Livitaca - Chumbivilcas - Cusco" Chumbivilcas - Cusco" es particularmente significativo en la caracterización geológica y geotécnica y el estudio de los materiales que conformarán la estructura de la presa. Geológicamente, el área de estudio indica que en el cuerpo de la presa hay afloramientos de rocas ígneas compuestas por dioritas, compuestas por cristales de color verde claro con una ligera cloritización, seritización, débil argilización e incipiente epidotización. argilización e incipiente epidotización. Hay fuertes depósitos glaciares cubriendo esta unidad, en depósitos glaciares, en el depósito, y hacia la superficie por material biogénico (de bofedal) de hasta 1,50 m de espesor. Según el análisis granulométrico basado en la clasificación SUCS, los suelos cercanos al fondo de la región del eje de la presa en todos los puntos explorados son del tipo CL (arcillas de baja compresibilidad con arena). Según las pruebas geofísicas, la estructura se cimentará sobre depósitos morrénicos con una resistencia que oscila entre 10 y 20 m, con una capacidad media admisible del suelo de cimentación según los criterios de Terzaghi, Meyerhof y Vesic de 1,13 kg/cm<sup>2</sup> para la zona del estribo izquierdo. 1,11 kg/cm<sup>2</sup> para la zona del estribo izquierdo, 1,04 kg/cm<sup>2</sup> para la zona del estribo derecho y 1,04 kg/cm<sup>2</sup> para el centro del fuste de la presa.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Es importante considerar los estudios Geotécnicos que se realiza para este proyecto, que son aplicados durante la etapa del proceso constructivo. Evaluar las condiciones geotécnicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de los



materiales de impermeabilización del núcleo de la presa de tierra, por lo tanto, determinar la carga admisible de las obras hidráulicas en relación con las condiciones geotécnicas del material cuaternario, será muy importante y necesario para un sistema integral de riego dentro de la cuenca norte de Haqira, que contribuirá la actividad agrícola bajo riego, dicho terreno es actualmente cultivado en condiciones de poca disponibilidad hídrica. Por lo cual, es necesario realizar una evaluación integral de disponibilidad hídrica que debe efectuar el consultor y validarlo en campo, luego en base al diagnóstico obtenido plantear el sistema integral de riego.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1 Problema general**

Conociendo el planteamiento del problema, se genera las siguientes interrogantes:

¿Cuáles serán las características geotécnicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción de la presa Ccosama, Haqira - Cotabambas – Apurímac?

#### **1.3.2 Problemas Específicos.**

¿Cuáles son las condiciones geológicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción de la presa Ccosama, Haqira - Cotabambas – Apurímac?

¿Cuáles son los parámetros geotécnicos que tiene el terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción de la presa Ccosama, Haqira - Cotabambas – Apurímac?



## **1.4 HIPÓTESIS**

### **1.4.1 Hipótesis General**

Las características geotécnicas del terreno de fundación son favorables y sus propiedades físicas mecánicas y químicas son óptimas para el diseño de cimentación de la construcción de la presa Ccosama, Haqira - Cotabambas - Apurímac.

### **1.4.2 Hipótesis Específico**

Las condiciones geológicas del terreno de fundación en el eje de la presa son favorables para la construcción de la presa Ccosama.

Los parámetros geotécnicos del terreno de fundación en el eje de la presa son favorables para la construcción de la Presa Ccosama.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la presa Ccosama - Haqira - Cotabambas - Apurímac.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar las condiciones geológicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la presa Ccosama - Haqira - Cotabambas - Apurímac.
- Evaluar los parámetros geotécnicos del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la presa Ccosama - Haqira - Cotabambas - Apurímac.





## 1.6 JUSTIFICACIÓN

Los estudios geotécnicos para el proceso de construcción de una Presa son muy importantes, por el tema de garantizar una construcción de calidad y a la vez la obra pueda tener una mejor duración y una vida útil, y así contribuir a un incremento sustentable de los ingresos de los productores, de esta manera se pueda generar fuentes de trabajo y pueda aportar al desarrollo de las comunidades, beneficiados como la comunidad Ccosama y sus colindantes, del distrito de Haqira.

Propósito de este estudio es demostrar la información geológica – geotécnica de la estructura del subsuelo ya que no se conoce la estructura del terreno de Fundación, ni de los materiales existentes del área de estudio.

La evaluación geológica y geotécnica permití conocer el comportamiento real del terreno para el diseño de la Presa Ccosama - Haqira, al evaluar sus propiedades y características, como la calidad del terreno de fundación en el eje de la presa, para una estabilidad óptima y para la factibilidad del proyecto actual.

Los parámetros geotécnicos del cuerpo de la presa, así como la topografía del terreno, la estabilidad del terreno y la permeabilidad, son elementos de investigación importantes, ya que estos factores pueden afectar la ingeniería a corto o largo plazo sin evaluación, para estimar estos valores, se apoyará los parámetros geotécnicos obtenidos del suelo, así como los materiales de préstamo para el cuerpo principal de la presa.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1 Presa

Según Vallerino (1998), describe una represa como una estructura destinada a contener agua en un cauce natural por dos motivos:

- Ascienda para que pueda aprovechar la estructura de liderazgo.
- Construir cobertizos o estanques para almacenar el exceso de agua períodos de sequía o escasez.

##### 2.1.1.1 Tipos de Presa

Según Vallerino (1998), define diferentes categorías en las que clasifica diferentes formas de cumplir con los requisitos de resistencia al agua y desviar el exceso de flujo. En cada caso, la importancia relativa de estos dos requisitos previos, la condición del suelo y la demanda de agua de la presa de riego. A veces, la tecnología avanzada y la situación económica actual crean una variedad de condiciones que conducen a la selección del tipo más adecuado. De ahí la conveniencia de tener varios para adaptarse mejor a diferentes entornos, podemos tener tipos de botón como:

- Presas de gravedad
- Presas de bóveda
- Presas de escollera



- Presa de arco
- Presas contrafuertes

### 2.1.1.2 Factores importantes en la selección del tipo de presa

El diseño de presas interviene varios factores. Por este motivo, los siguientes son los más importantes desde el punto de vista de la elección de un tipo de cortafuegos: (Marsal & Reséndiz, 1975)

**Topografía del terreno**, determinando la ubicación más adecuada y tamaño aproximado del terraplén, la posible ubicación del aliviadero y la necesidad de hormigonar los terraplenes auxiliares.

**La geología del área**, que determina el carácter de las rocas y aluviones depositados en el arroyo, y la presencia de fallas tectónicas o activas que pueden afectar la estabilidad y desempeño de la presa.

**Los materiales disponibles en el sitio web**, sus características le permiten comparar costos y determinar la solución más rentable.

**La sismicidad**, tierra adentro tiene un impacto particular en el comportamiento dinámico del suelo de fundación y del suelo a partir del cual se construye el embalse, así como en el tamaño de las olas que se pueden formar en el embalse debido a deslizamientos en las laderas o causados por terremotos.

**La hidrología**, de la cuenca es uno de los factores más importantes a la hora de elegir una presa, ya que determina el nivel máximo de inundación de diseño.



**Medio ambiente**, se ha convertido en un importante estudio de lo que ahora llamamos desarrollo sostenible.

### **2.1.1.3 Función de las Presas**

De acuerdo (Humberto & Luis, 2009), una represa es una estructura diseñada para retener agua con el fin de formar un sedimento que atrape el agua y eleve el nivel del agua para que pueda ser transportada a donde se necesite. La condición de formación de la costura hace que el agua quede atrapada provocando una fuerte presión sobre la estructura, este es el mayor requisito que tiene el proyecto para diseñar. En términos de resiliencia, el principal problema a resolver es cómo absorberá la presa la presión que el agua ejerce sobre ella sin colapsar y ejercer más presión sobre el suelo natural de la que puede soportar. Las represas se seleccionan en función de su capacidad para cumplir con requisitos tales como:

- Construir estructuras impermeables para regular y almacenar agua.
- Resistir la presión del agua y evacuar si es necesario.

El autor también menciona que es necesario tomar en cuenta las características del área donde se realizará la obra, la disponibilidad de materiales y el uso del agua, que determinan la elección del tipo de presa, en principio se pueden dividir en dos grandes grupos: por la estructura y materiales utilizados para sus obras, presas de hormigón.

### **2.1.1.4 Factor de seguridad**

Los ingenieros utilizan factores de seguridad para comprender la amenaza de que una pendiente falle en las peores condiciones de



comportamiento para las que fue diseñada. Fellenius 1922 propuso el factor de seguridad como la relación entre la resistencia a la corte real calculada del material.

Pendiente y esfuerzo cortante. Critical Tropics intenta generar deslizamientos de tierra dañinos y estabilidad de pendientes a lo largo de posibles superficies de falla.

El factor de seguridad (FS) también se puede definir de otras formas. En primer lugar, se puede definir como el cociente entre los valores del ángulo de cohesión o de fricción de la pendiente estable actual. También se puede definir como la relación entre el momento que actúa sobre la pendiente que previene el deslizamiento y el momento que causa el deslizamiento.

## 2.2 PRESA DE ENROCADO

Un terraplén formado por fragmentos de roca de diferentes tamaños para soportar el agua en la presa, el canal de transición de pendiente aguas arriba que actúa como un depósito de filtro y soporta el tercer componente de la presa. Incluye una membrana impermeable. La trituración ha demostrado ser económica en cada una de las siguientes condiciones ICOLD (1995)

- Hay una gran cantidad de roca cerca del sitio de construcción.
- Dificultad para conseguir tierra o hay que cultivar mucho.
- Prevalece una corta temporada de construcción.
- Las condiciones climáticas muy húmedas restringen el uso de suelo de relleno.
- Puede aumentar el cortafuegos más tarde.



El autor ICOLD (1995), también mencionó que el aspecto que dicta la elección de una presa de roca es la remoción de factores como la erosión interna. Un factor de gran importancia para las presas de roca es que, dado que no hay presión negativa y las condiciones para mantenerlo seco, los movimientos sísmicos no pueden generar presión intersticial o presión intersticial.

### **2.2.1 Presas de enrocado con membrana impermeable**

Según ICOLD (1995), mencionó que presa de terraplén se define como terraplén cuya estabilidad depende principalmente de la roca. El terraplén debe tener una zona impermeable, generalmente proporcionada por una membrana inclinada impermeable o un núcleo de arcilla impermeable.

#### **2.2.1.1 Componentes principales de una presa de enrocado**

De acuerdo a Ray & Joseph (1978), un embalse es el volumen de agua retenido por una presa.

- Barco parte del valle, después de la inundación que contenía agua fue embalsado.
- Cerraron ciertos puntos en el área donde se está construyendo la represa.
- La función principal de la pantalla o cortina es asegurar la estabilidad de toda la estructura, para soportar la presión hidrostática del agua.
- Los muros o taludes son dos superficies principales, más o menos verticales, que delimitan el cuerpo del terraplén, la superficie interior o superior expuesta al agua y la superficie exterior o inferior.



- La cresta es la cara límite de la presa por encima de ella.
- La estructura del aliviadero por donde discurre el agua cuando se llena la presa.
- Los estribos son los bordes del muro que están en contacto con la barandilla sobre la que se apoya.

Según Ray & Joseph (1978), también mencionan que la membrana impermeabilizante de hormigón armado en todo el talud superior tiene la función principal de impermeabilizar la presa y evitar filtraciones de agua. Su ventaja es que cuando baja el nivel del agua, se puede comprobar su funcionamiento y realizar posibles reparaciones. La plataforma de transición entre el cuerpo de la carcasa y la membrana impermeabilizante cumple la función de soportar y transferir la carga a la carcasa.

Esta área también contiene un filtro de fugas múltiple a través de la membrana impermeabilizante. Una escollera compactada constituye la mayor parte de la presa y proporciona soporte para la columna de agua elevada. La roca compactada reduce el asentamiento, aumenta el ángulo de fricción interna del cuerpo de la presa y, al mismo tiempo, aumenta la resistencia al esfuerzo cortante. (Ray & Joseph, 1978)

### **2.2.2 Embalse**

Según Dal-Ré (2003), define una presa o embalse como un embalse artificial formado por una presa de menos de 10 metros de altura, considerándose también cuando su altura está entre 10 y 15 metros, con una capacidad inferior a 100.000 m<sup>3</sup> de agua. En desarrollo en la mayoría de los países para su implementación.



### **2.2.3 Vaso**

Según Gonzales (2004), es la parte del valle donde se contiene el agua en caso de inundación. Una de las principales condiciones que debe cumplir un depósito es su estanqueidad. Sin embargo, dependiendo de su aplicación, es aceptable una mayor o menor pérdida de agua. Por tanto, los depósitos estancos no requieren la misma estanqueidad que los depósitos de abastecimiento o riego. Por otro lado, también es necesario analizar las condiciones de impermeabilización según las necesidades de uso, ya que en algunos casos puede merecer la pena tratar algunas zonas con impermeabilización.

### **2.2.4 Cimentación de la presa**

Según el autor (Linsley & FRANZINI, 1978), es la parte de la estructura de la presa a través de la cual se transmite la carga al terreno, la carga incluye la carga causada por la presión hidrostática y el peso propio de la estructura.

La cimentación debe proporcionar un soporte estable al terraplén bajo todas las condiciones de carga y saturación.

Debe ser resistente a la filtración para evitar daños por erosión y escurrimiento de agua.

Se debe limpiar a fondo la zona de la base de la presa, eliminando todos los árboles, malezas, raíces, piedras, tierra vegetal, materiales permeables, etc., hasta formar una capa sólida y adecuada de suelo. Antes de comenzar la construcción del terraplén, se debe aflojar la superficie de cimentación.

Se debe limpiar, profundizar y ampliar el área de la cimentación correspondiente al canal de agua hasta eliminar toda piedra, grava, arena y





cualquier material no deseado. El desbroce del canal se realiza en profundidad para que la pendiente de la excavación se mantenga estable.

Cuando se descubre roca durante la preparación de los cimientos, es importante limpiarla por completo, eliminando cualquier costra o fragmento de roca de su superficie. En esta operación no se podrán utilizar explosivos de ningún tipo.

Es importante que la preparación de los cimientos y la excavación de la tubería de agua se realicen simultáneamente de acuerdo con la pendiente y las dimensiones mínimas indicadas en el plano.

En esta etapa de la construcción, es importante tomar todas las precauciones para controlar el agua hasta completar la obra.

## **2.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES**

Las propiedades geotécnicas del suelo juegan un papel importante en cualquier proyecto de construcción que involucre edificios, carreteras y presas. En estos proyectos, el suelo se utiliza como material de ingeniería debido a su capacidad para soportar estructuras de soporte y formar grumos en presas de tierra. A continuación, se detallan algunos de los aspectos geotécnicos del material:

### **2.3.1 Terreno de fundación**

Al realizar cualquier proyecto u obra de ingeniería civil, es necesario realizar un estudio del sitio como parte de un plan de investigación geotécnica, que involucra diversos aspectos de la geología y la mecánica de suelos. Las consideraciones de planificación de la exploración dependerán del tamaño y tipo de proyecto.

### 2.3.2 Granulometría

Las propiedades mecánicas de los suelos están estrechamente relacionadas con el tamaño y la forma de sus partículas constituyentes. El suelo puede o no estar compuesto principalmente de partículas de tamaño muy similar, con él puedes encontrar una gran variedad de tamaños, desde los que no se ven ni en el mejor microscopio óptico (bolas coloidales), hasta rocas que van desde los milímetros a centímetros. “Si un trozo de suelo se pasa a través de una serie de mallas o tamices de tamaño de malla conocido” las partículas más grandes que el tamaño de malla del tamiz quedarán retenidas en cada uno de ellos. las redes los mantienen más pequeños que las redes directamente encima de ellos Gonzales de Vallejo (2002).

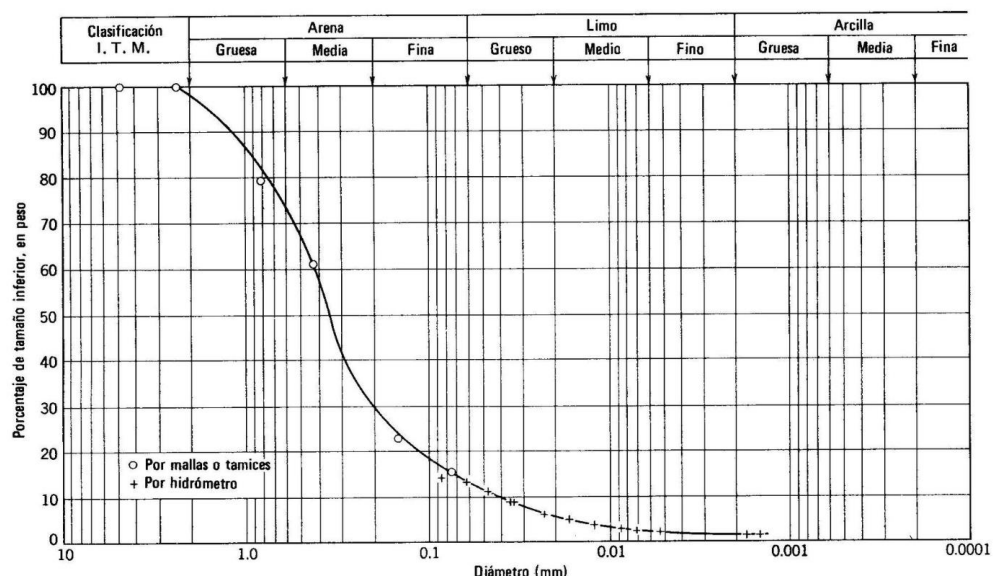
**Tabla 1.**

*Aberturas de mallas de la serie americana (A.S.T.M.)*

TAMICES	
SERIE AMERICANA	
NÚMERO DE MALLAS ABERTURA (Pulg.)	ABERTURA (mm)
3"	76.200
2 ½"	63.500
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.050
½"	12.700
⅜"	9.525
¼"	6.350
Nº 4	4.750
Nº 6	3.360
Nº 8	2.360
Nº 10	2.000
Nº 16	1.180
Nº 20	0.850
Nº 30	0.600
Nº 40	0.425
Nº 50	0.300
Nº 80	0.180
Nº100	0.150
Nº 200	0.075
- 200	ASTM D 1140

Fuente: ASTM

Por otro lado, la curva de tamaño de partícula es un gráfico de los resultados obtenidos en el laboratorio de suelo del tamaño de partícula. las partículas que lo componen. Para construir la curva de distribución del tamaño de partícula, debemos considerar que el porcentaje de muestras que pasaron cada tamiz se encuentra en el eje y en una escala aritmética, mientras que el orden agujeros de tamiz a lo largo del eje x y tienen una escala logarítmica; esto facilita la construcción de una curva de distribución de tamaño de partícula. El propósito del análisis de tamaño de partículas es determinar el tamaño de las partículas o partículas que componen el suelo y determinar el número de partículas de diferentes tamaños como porcentaje de su peso total Braja (2001)



**Figura N° 1** Ejemplo de curva granulométrica (Angelone & Garibay (2006)

### 2.3.3 Graduación

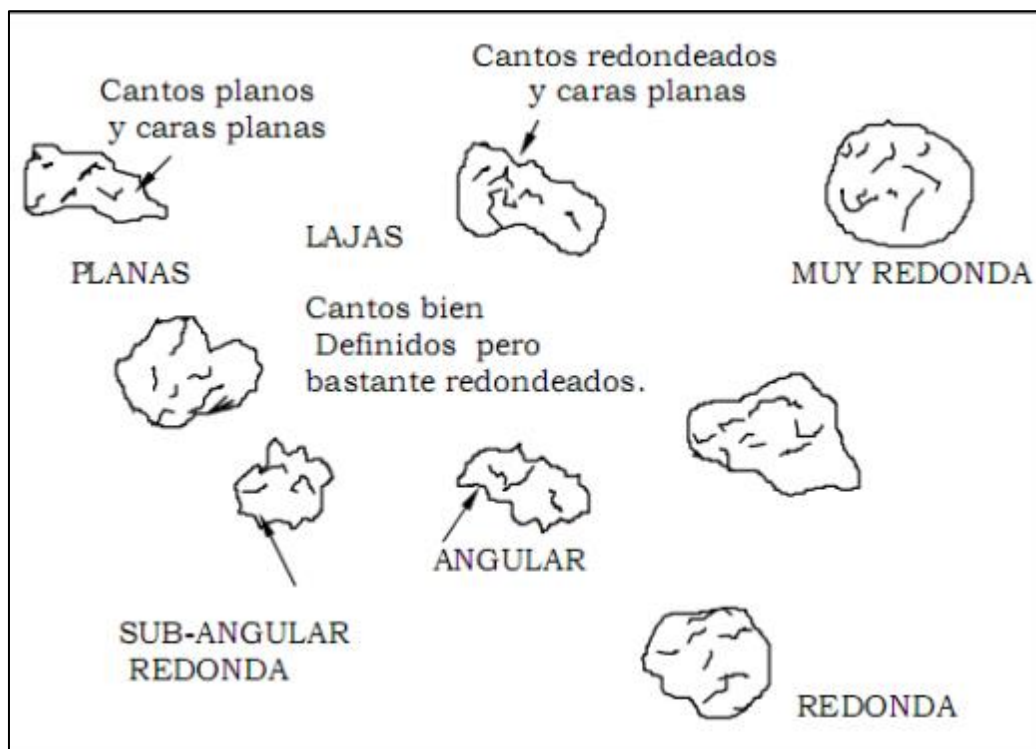
Cuando el suelo está compuesto de partículas de diferentes diámetros, se dice que el suelo tiene una buena "graduación". La curva de medición de partículas es continua y suave. Si la curva tiene partes horizontales o verticales, eso significa, respectivamente, que un cierto rango de tamaño está ausente o es

dominante y se considera un suelo "débilmente distribuido". La línea vertical significa que el suelo está formado por partículas del mismo tamaño y se llama suelo homogéneo. Los suelos homogéneos son más livianos y menos estables que los suelos bien desarrollados DESENA.AHEDO (2003)

### 2.3.4 Forma

Independientemente del tamaño, las partículas del suelo pueden ser redondas, hemisféricas, angulares o laminares, como se muestra en la Figura 2. (GONZÁLES Y. J. ROBLES J. L. – 2004)

La forma afecta las propiedades mecánicas; Por ejemplo, el suelo que consiste principalmente en granos gruesos, en ángulo es mejor su adherencia intergranular que otra partícula del mismo tamaño, pero de grano redondeado. Esto conduce a una mayor resistencia al movimiento relativo de las partículas que en el primer caso. Para suelos de grano fino, la forma es aún más importante.



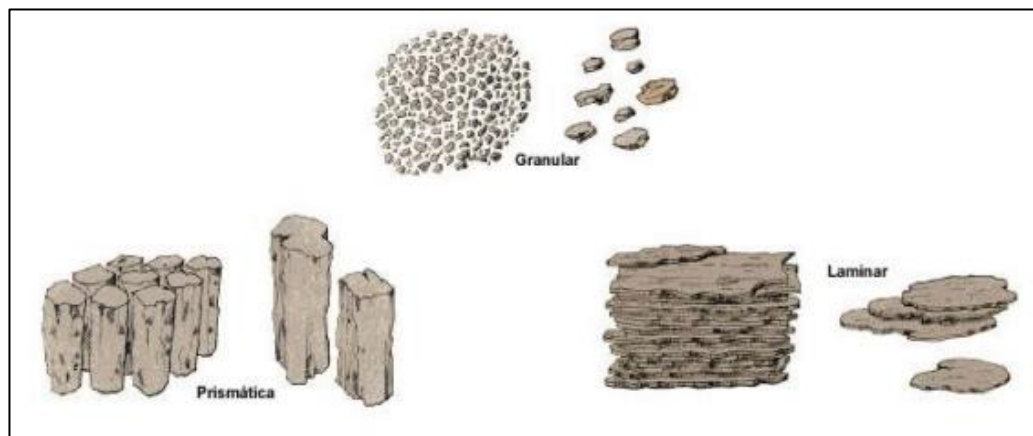
**Figura N° 2** Formas de partículas de suelo (Gonzales y Robles, 2004)

### 2.3.5 Plasticidad

Se sabe que los suelos que consisten en limo y arcilla se ablandan cuando se recuperan, formando limo que se endurece en diversos grados o se convierte en polvo cuando se seca. Estos fenómenos simples son en realidad muy complejos en su naturaleza física y química y forman la base de los experimentos desarrollados por Atterberg para estudiar los cambios en la consistencia del suelo de grano fino con cambios en la densidad del suelo cálido. Atterberg introdujo conceptos llamados "límites de consistencia" o "Atterberg" (GONZÁLES Y.J. ROBLES J.L. – 2004)

### 2.3.6 Estructura

Además del tamaño de grano, el tamaño de grano y la plasticidad, un factor importante que afecta las propiedades mecánicas también es cómo se unen las partículas, es decir, la estructura del suelo, se distinguen tres tipos de estructuras: "grano, prismática y multicapa".



*Figura N° 3* Tipos de estructuras en suelos

**Estructura granular.** -Estos son granos individuales de arena, limo y arcilla, agrupados en pequeñas partículas casi esféricas.



**Estructura prismática.** -Son partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales, separados por pequeñas, pero bien definidas grietas longitudinales.

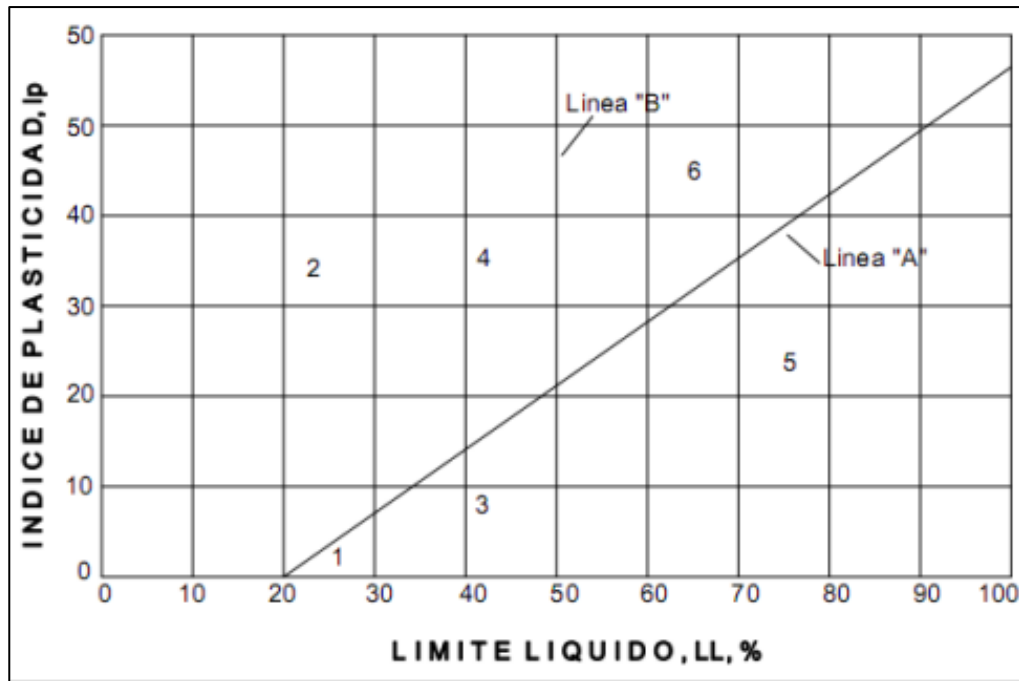
**Estructura laminar.** - Consiste en partículas de suelo concentradas en capas o capas delgadas apiladas horizontalmente.

### 2.3.7 Límite líquido (LL)

En el momento en que se añade suficiente agua al suelo fino, éste puede llegar a ser casi un líquido, es decir, puede fluir con facilidad bajo la influencia de una pequeña fuerza de cizallamiento. Cuando se deja que esa agua llegue a evaporarse completamente, el suelo comienza a presentar una resistencia al cizallamiento y se comportará como una sustancia flexible. El límite líquido es la cantidad de agua representado como porcentaje del peso del suelo seco en esta fase (Bowles J.E, 1981)

### 2.3.8 Límite Plástico (LP)

En el momento que se deja que el agua se evapore después de llegar al punto máximo el límite líquido mediante el amasado manual del suelo, éste se volverá más frágil y dejará de actuar como una sustancia flexible. El límite de plasticidad es el porcentaje de agua que le corresponde. El índice de plasticidad es el resultado que se obtiene de la diferencia de los límites líquido y plástico. Se utiliza el símbolo LP para describirlo. Arthur Casagrande desarrolló la tabla de plasticidad relacionando el límite líquido entre el índice de plasticidad correspondiente de un amplio grupo de los suelos finos, en la Figura N° 2. La “línea A” determina el límite de los suelos limosos y los suelos arcillosos (Bowles J.E, (1981)



*Figura N° 4* Carta de plasticidad de A. Casagrande (Casgrande, 1948)

- 1) Limos inorgánicos con bajo nivel de capacidad de compresión.
- 2) Arcillas inorgánicas de bajo nivel de flexibilidad.
- 3) Limos inorgánicos y orgánicos con una compresibilidad intermedia.
- 4) Arcillas inorgánicas de plasticidad mediana.
- 5) Limos inorgánicos de flexibilidad baja y arcillas de tipo orgánico.
- 6) Arcillas inorgánicas con una gran flexibilidad.

### 2.3.9 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo,

$$IP = LL - LP$$

Donde IP

- 0 – 1 No plástico
- 1 – 5 Ligeramente plástico
- 5 – 10 Baja plasticidad



- 10 – 20 Mediana plasticidad
- 20 – 35 Alta plasticidad
- > 35 Muy alta plasticidad

Mientras sea mayor el IP, también será mayor la compresibilidad del suelo  
(Braja M. D, 1999)

### **2.3.10 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)**

Introducido originalmente por el Dr. Arthur Casagrande como el "Sistema de Clasificación de Suelos de Aeropuertos" durante la Segunda Guerra Mundial, el sistema fue posteriormente modificado ligeramente por la "Asociación Agrícola Estadounidense". Ingenieros del Ejército e Ingenieros de los Estados Unidos. Bureau of Reclamation”, para usarlo en caminos, terraplenes y cimientos; ahora se llama sistema único.

Este sistema ofrece beneficios duales porque se adapta fácilmente a las condiciones de campo y laboratorio, requiere poca experiencia y algunas pruebas simples para determinar a qué grupo de suelo pertenece un determinado suelo. Tomando en cuenta las características de tamaño de grano, granularidad y plasticidad, describe los suelos de una manera fácil y sencilla, vinculando a cada grupo de suelos un orden de magnitud de las propiedades mecánicas, lo más importante, y por lo tanto su idoneidad para diversas aplicaciones de construcción  
DESENA.AHEDO (2003)

La tierra está marcada con un comodín. Cada signo de grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son abreviaturas de los seis tipos principales de suelo (grava, arena, aluvión, arcilla, suelo orgánico fino y turba), mientras que los sufijos indican las subdivisiones de estos grupos.





**Suelos gruesos.** Se dividen en grava (G) y arena (S) y se separan por el tamiz 4, por lo que el suelo es grava, si más del 50% está en el tamiz 4, es grava. grupo de grava. otros grupos de arena.

**Suelos finos.** El sistema unificado que tiene en cuenta los suelos de grano fino se divide en grupos: aluvión inorgánico (M), arcilla inorgánica (C) y aluvión y arcilla orgánica (O). A su vez, cada uno de estos suelos se divide en dos grupos por puntaje de rendimiento, cuyo límite es  $Ll = 50\%$ . Si el límite elástico del suelo es inferior a 50, se agrega la letra L (baja compactación) a la designación general. Si es mayor a 50, agregue la letra H (alta compresión).

**Tabla 2.**

*Clasificación de suelos S.U.C.S.*

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRE DEL GRUPO
GW	Grava bien graduada
GP	Grava mal graduada
GM	Grava limosa
GC	Grava arcillosa
GW-GM	Grava bien graduada con limo
GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
GP-GM	Grava mal graduada con limo
GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
SW	Arena bien graduada
SP	Arena mal graduada
SM	Arena limosa
SC	Arena arcillosa
SW-SM	Arena bien graduada con limo
SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
SP-SM	Arena mal graduada con limo
SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
CL	Arcilla de baja plasticidad
ML	Limo de baja plasticidad
OL	Limo / Arcilla orgánica
CH	Arcilla de alta plasticidad
MH	Limo de alta plasticidad
OH	Limo / Arcilla orgánica
PT	Turba

Fuente: Gonzáles Yélamos J. 2004



## 2.4 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Las pruebas para determinar la permeabilidad del suelo con fines geotécnico y de ingeniería se pueden realizar en perforaciones o pozos, así como en movimientos de tierra. La mayor distribución se da en los pozos que utilizan sondeos de investigación geotécnica. Sin embargo, cuando no se dispone de perforaciones, se pueden hacer en excavaciones pequeñas y poco profundas con formas definidas. (Gonzáles de Vallejo, 2002)

### 2.4.1 Tipo Lugeon

Este estudio se lleva a cabo en la evaluación y el permiso de la arena Matrix SP -SM, que está fuertemente formada con arcilla SP de arcilla mala con la plasticidad de Olmos / arcilla orgánica baja. Las pruebas incluyen una introducción de presión constante en la prueba, midiendo el recibo en 10 minutos. Por lo general, común, normal. Los tramos de prueba del pozo excavado tienen una longitud de 5 metros, aislando el tramo de prueba del resto de la excavación mediante persianas; en este caso la prueba también se conoce como prueba de Packer. Si el ensayo se va a realizar en el fondo del pozo (últimos 5 metros), sólo se debe utilizar la válvula correspondiente en este caso al ensayo determinado por González de Vallejo (2002)

Antes de comenzar, se determina la presión máxima aplicada, que no debe exceder la presión límite esperada por la profundidad; Se trabajó a esta presión máxima durante la prueba para que no se formaran grietas en la roca debido a la presión creada por el agua. La presión total aplicada está determinada por la fórmula de tensión efectiva:



$$\sigma = \sigma - \mu$$

Donde:

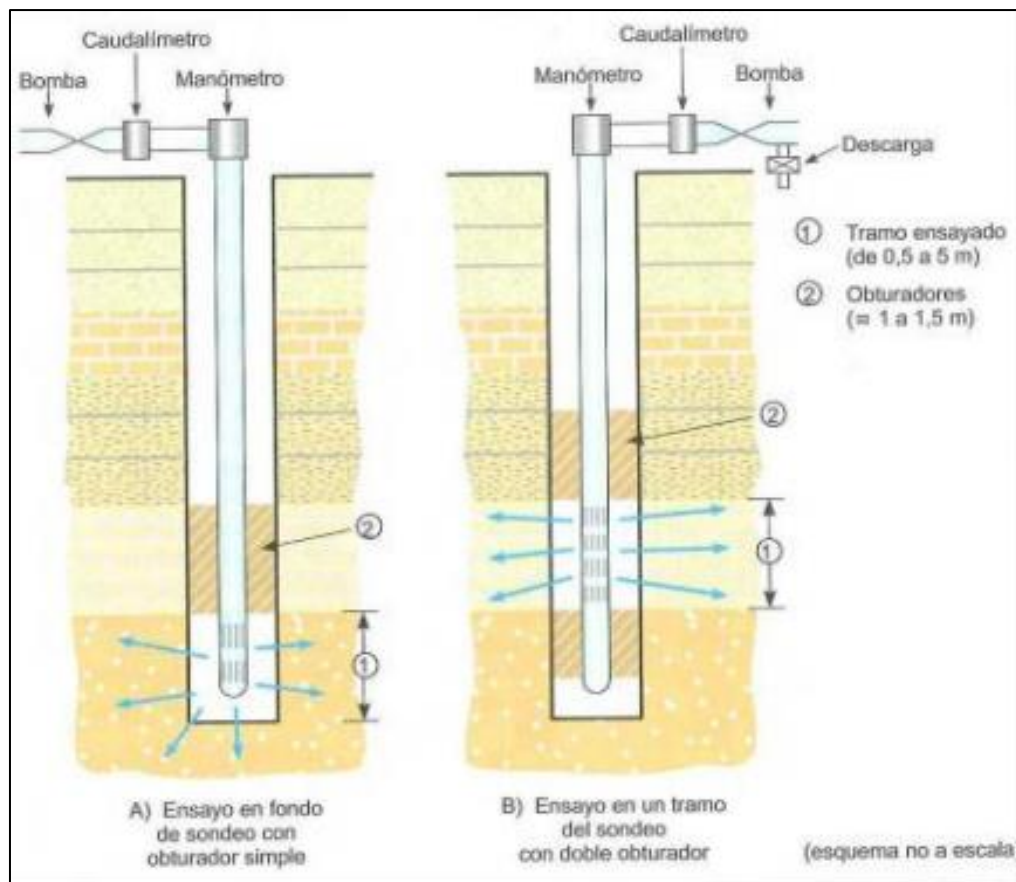
$\sigma$  = Esfuerzo efectivo;

$\sigma$  = Esfuerzo total;

$\mu$  = Presión de poros.

Se tiene en cuenta el caudal en cada nivel de presión. Para calcular una unidad de Lugeon, el flujo promedio se multiplica por la presión.

Los resultados obtenidos en 5 estaciones de asentamiento de la unidad de Luzón, el promedio de sumar los resultados de la primera y quinta estación, obtenemos la unidad de área de Lugeon. Para obtener el valor de transferencia "K", la unidad Lugeon se multiplica por 0,000013 cm/s, que es un valor relacionado con la ley de Darcy.



*Figura N° 5* Esquema de ensayo Lugeon (Gonzáles de Vallejo, 2002)

#### 2.4.2 Tipo Lefranc

Esta prueba se utiliza para medir la permeabilidad al agua en suelos granulares o semipermeables por debajo del nivel freático y en rocas muy fracturadas. Las pruebas se realizan en el pozo y se pueden realizar durante o después de la perforación. El procedimiento es llenar el pozo con agua y medir el caudal requerido para mantener un nivel constante (prueba de modo constante) o medir la velocidad a la que baja el nivel del agua (prueba de modo flotación) (Gonzáles de Vallejo, 2002) La medición del caudal de entrada se medirá durante 10 min con un intervalo de 1 min.



### 2.4.2.1 Lefranc a nivel variable

Una cantidad repentina de agua es succionada o forzada hacia el pozo, lo que hace que el nivel del agua suba o baje momentáneamente. El tiempo de descenso se mide después de restaurar al nivel original. Esto está determinado por la ecuación:

$$K = \frac{d^2 \ln(2L/d)}{8 L t \ln(h_1/h_2)}$$

Donde:

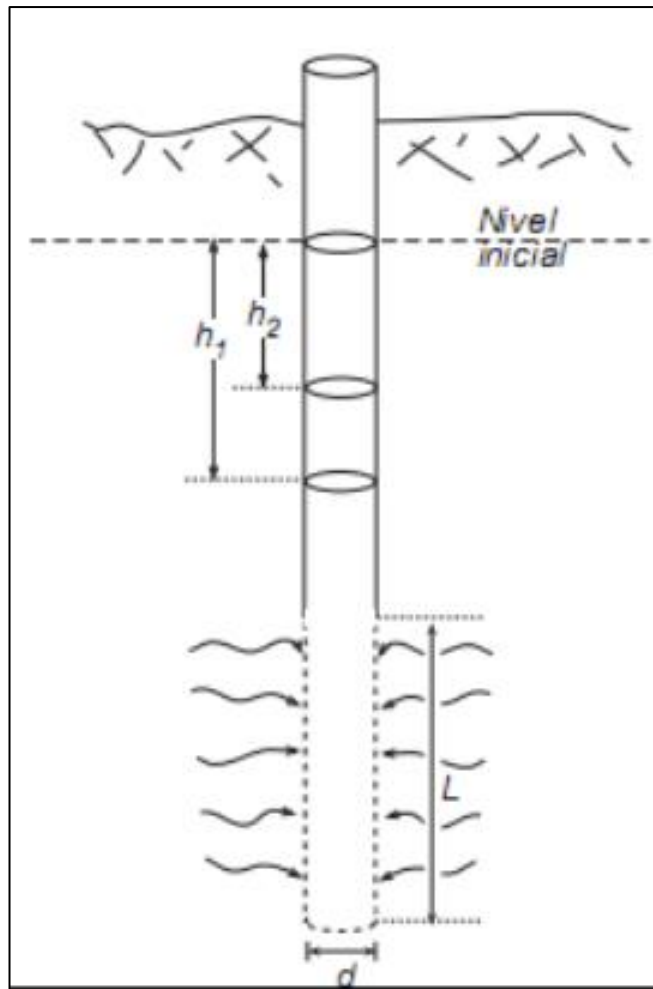
K = Coeficiente de permeabilidad (cm/s);

h1 y h2 = Altura del agua al inicio y fin del ensayo;

t = Tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h1 y h2;

L = Longitud del ensayo;

d = Diámetro del pozo.



**Figura N° 6** Esquema del ensayo Lefranc a nivel variable <http://hidrología.usal.es>,

2011

#### 2.4.2.2 Lefranc a nivel constante

La prueba requiere que el pozo se llene de agua antes del tiempo de medición y el caudal, observando que el aire se desplaza y el nivel y la velocidad de descenso son constantes, lo que indica que se ha logrado un estado estable. Para cálculos posteriores, es necesario determinar la altura del nivel freático. El coeficiente de permeabilidad del suelo se calcula simplemente de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$K = Q / (C * \Delta h)$$

Siendo:

$K$ = Coeficiente de permeabilidad (cm/s);

$Q$ = Caudal (cm<sup>3</sup> /s);

$\Delta h$ = Altura del agua sobre el nivel inicial (cm);

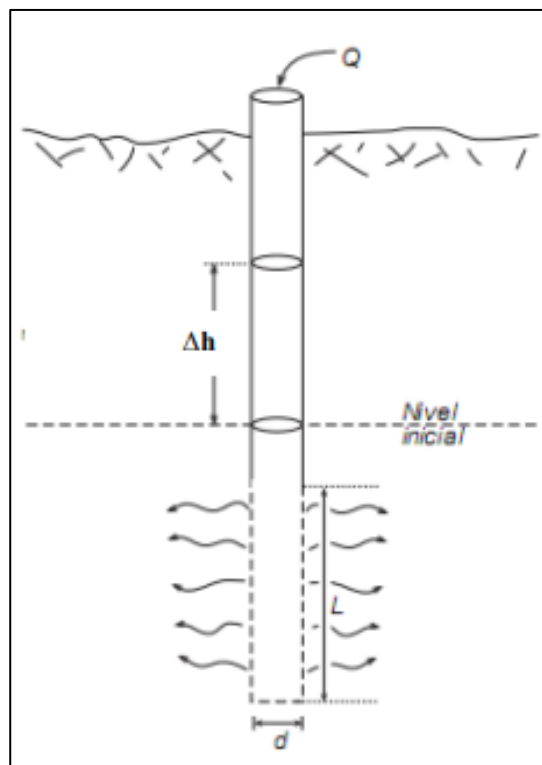
$C$ = Coeficiente de forma, definido por la expresión:

$$C = 2 \pi * L / \ln(2L/d)$$

Donde:

$L$ = Longitud del tramo ensayado (m),

$d$ = Diámetro de la perforación (m).



**Figura N° 7** Esquema del ensayo Lefranc a nivel constante (<http://hidrología.usal.es>, 2011)



## 2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO

La investigación geotécnica de laboratorio es una investigación que se lleva a cabo para determinar las características geotécnicas de un terreno como parte de un método de exploración geotécnica. Estos ensayos se realizan sobre muestras  $\Delta h - 20$  -tomadas con anterioridad en campo y, dependiendo del tipo de ensayo, requieren muestras de diferente calidad que realizará el autor.

### 2.5.1 Ensayo de corte directo

El ensayo de cortante tiene como objetivo determinar la resistencia de una muestra de suelo sometida a fatiga y/o deformación simulando las deformaciones que han ocurrido u ocurrirán en el campo debido a la aplicación de cargas Braja (2001)

Para encontrar una de estas resistencias en el laboratorio, se usa un dispositivo de corte directo, generalmente una caja cuadrada o redonda, que se divide horizontalmente en dos mitades. Se coloca una muestra de suelo en su interior y se aplica una carga vertical limitada, seguida de una carga horizontal creciente que hace que la mitad móvil de la caja se desplace y la muestra se corte. Las pruebas de corte de laboratorio directo se pueden dividir en tres categorías según la presencia de drenaje y/o la compactación de la muestra, de modo que los valores de "c" y " $\phi$ " son inferiores a la media depende significativamente de la tasa de prueba y la permeabilidad de la muestra normal

### 2.5.2 Análisis granulométrico

El propósito de este análisis es obtener la distribución de tamaño de las partículas presentes en la muestra de suelo. De esta forma, también se pueden clasificar mediante el sistema SUCS. Este estudio es importante porque la





mayoría de los criterios de aceptación son para suelos utilizados en cimientos de caminos o cimientos, presas de tierra o terraplenes, sistemas de drenaje, etc. dependen de este análisis.

Se utilizaron tamices estandarizados y numerados, dispuestos en orden descendente, para obtener la distribución del tamaño de partícula. Para suelos con granulometría superior a 0,074 mm. Se utilizan métodos analíticos mecanicistas que utilizan tamices y numeración de tamices DESENA.AHEDO (2003)

### **2.5.3 Determinación de los límites de Atterberg**

Los suelos de cierta cohesión, dependiendo de su naturaleza y contenido de agua, pueden presentar propiedades asociadas a ellos en estado sólido, semisólido, plástico o semilíquido. El contenido limitado de agua o humedad en el que se produce un cambio de estado varía entre los tipos de suelo. El método utilizado para medir estos límites se denomina método de Atterberg. Las pruebas se llevan a cabo en un laboratorio y miden la cohesión del suelo y su contenido de humedad, por lo que el suelo se forma en pequeños cilindros gruesos. De acuerdo con estos procedimientos, se definen dos límites: DESENA.AHEDO (2003)

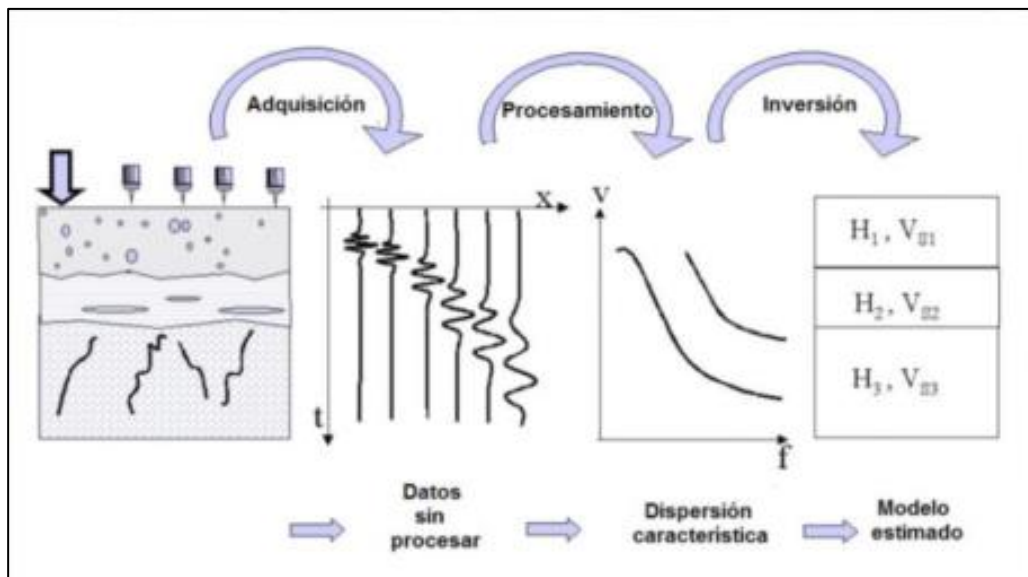
### **2.5.4 Contenido de Humedad**

El propósito de esta prueba es determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de la masa del suelo es creado por la suma de su agua libre, capilar e higroscópica. La importancia del contenido de agua del suelo, junto con el contenido de aire, es una de las características más importantes que explican su comportamiento (especialmente en suelos de textura más fina), como cambios de volumen, fuerza adhesiva, estabilidad mecánica. El

método tradicional para determinar la humedad del suelo en el laboratorio es el secado en horno, donde la humedad del suelo es el porcentaje de masa de agua en una determinada masa de suelo sobre la masa de sólidos DESENA.AHEDO (2003)

## 2.6 MÉTODOS DE LA SÍSMICA PARA LA GENERACIÓN DE ONDA SUPERFICIAL

Los métodos utilizados para generar ondas dependerán de las condiciones que rodean el área de interés, la sensibilidad del dispositivo y el rango deseado. Estos métodos se pueden clasificar según el tipo de fuente utilizada, se denominan activos y pasivos, y existen variaciones cuando se combinan. Los principales pasos del método de ondas superficiales (MOS) según (De Lucena, 2016) e (Strobbia, 2003) incluyen: recopilación, procesamiento e inversión de datos.



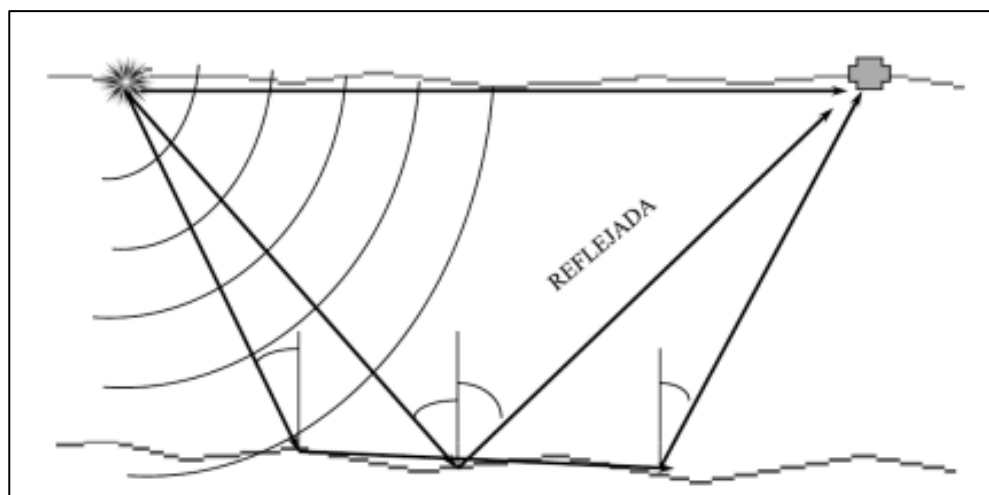
**Figura N° 8** Pasos para los métodos de ondas superficiales (Strobbia, 2003)

Método activo que utiliza una fuente sísmica pulsada controlada (ya sea un martillo o un explosivo) para generar ondas elásticas que se propagan bajo tierra y son registradas por varios receptores (geófonos) ubicados a una distancia determinada. La

elección de la fuente de pulsos y la separación del sensor de superficie dependerá de la profundidad de análisis que se desee lograr. El modo pasivo no requiere de una fuente de pulso activa (ya sea porras o explosivos) para generar una señal, ya que es activado por fuentes pasivas, vibraciones ambientales, generadas por ruido ambiental debido a la actividad de personas, viento, olas del mar; basado en la recolección de ruido sísmico por diferentes sensores y durante un cierto período de tiempo. El propósito de este método es una evaluación indirecta y no destructiva del terreno

### 2.6.1 Método de Refracción Sísmica

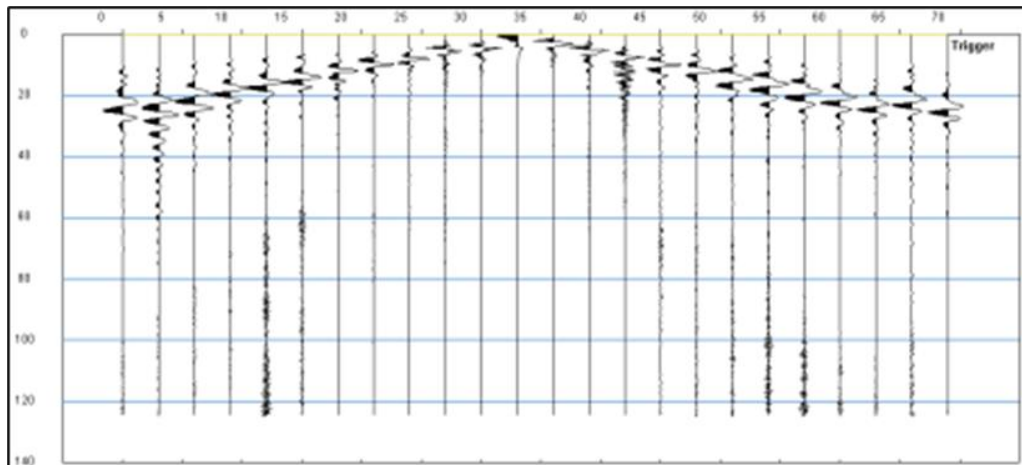
Luego de establecer los blancos sísmicos y determinar la ubicación de los ensayos, se estableció en cada perfil sísmico la distancia entre la Fuente - Geófonos (según plan de campo) y los Geófonos - Geófonos (3 m) para lograr la mayor precisión posible del tiempo la señal sísmica llega a cada geófono y alcanza la profundidad requerida según el propósito. en vestiduras. 3 muestra el principio de refracción.



**Figura N° 9** Esquema de la propagación de la Onda Refractada (Strobbia, 2003)

La aparición del frente de onda hace que las vibraciones sean registradas por cada receptor sísmico y amplificadas por el sismógrafo que finalmente se

muestra en la pantalla de la computadora personal, observamos el proceso de registro de señales terrestres o vibraciones por estimulación artificial a un sistema de 24 geófonos.



**Figura N° 10** Sismograma de un tendido sísmico de 24 geófonos (Strobbia, 2003)

### 2.6.2 Método Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 2D)

Se utilizó el análisis de correlación cruzada de punto común (CMPCC) de datos de ondas de superficie multicanal para derivar secciones transversales 2D en función de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ). El análisis de correlación cruzada común de punto medio es una extensión opcional del análisis de ondas superficiales multicanal (MASW) que permite obtener velocidades de fase en curvas de dispersión con mayor precisión y resolución; así como secciones 2D con mayor contraste que los métodos sísmicos convencionales.

En general, las pruebas MASW 2D utilizan el concepto de reflectancia sísmica CDP (profundidad común), que es el punto medio entre el receptor y el par fuente, y el punto central común (CMP), que es una colección de trazas que tienen las mismas medidas. Para cualquier configuración, cada par de rastros en el registro está correlacionado, todos los rastros correlacionados se combinan



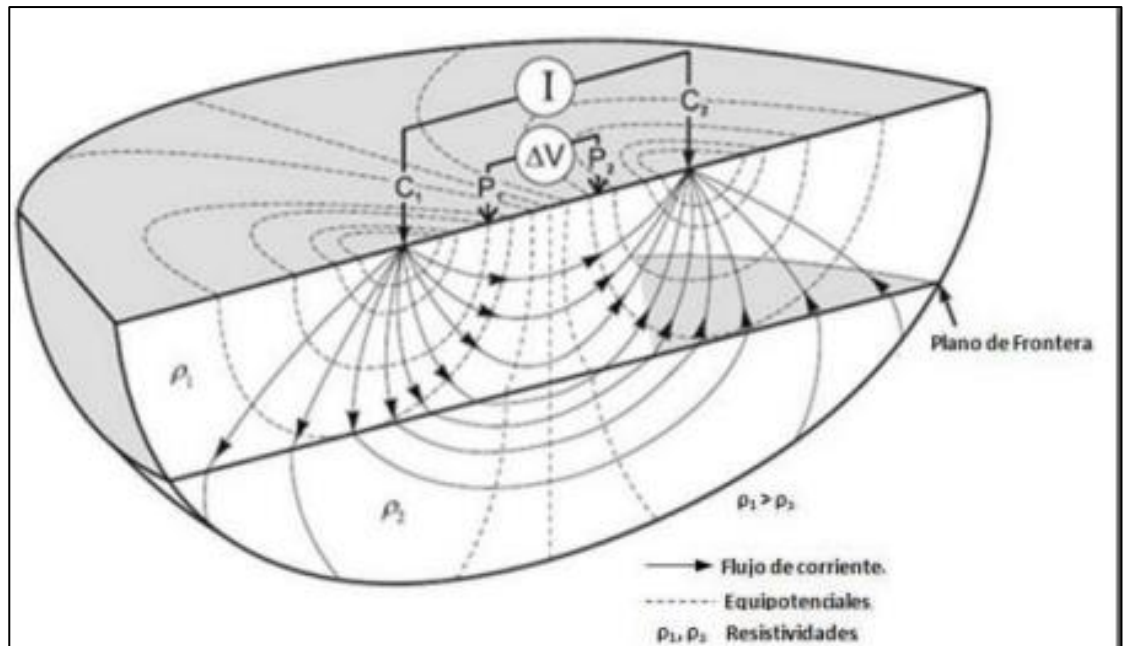
usando CMP, luego los equidistantes se agregan al dominio del tiempo Hayashi & Suzuki (2004).

Estos pasos adicionales mejoran el método MASW original, aumentando efectivamente la resolución lateral y la precisión de la V final en la sección transversal.

## **2.7 MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

El método electroquímico es sin duda uno de los métodos de exploración geofísica más conocidos y proporciona una solución fiable y técnicamente sólida para la investigación hidrológica en aguas poco profundas.

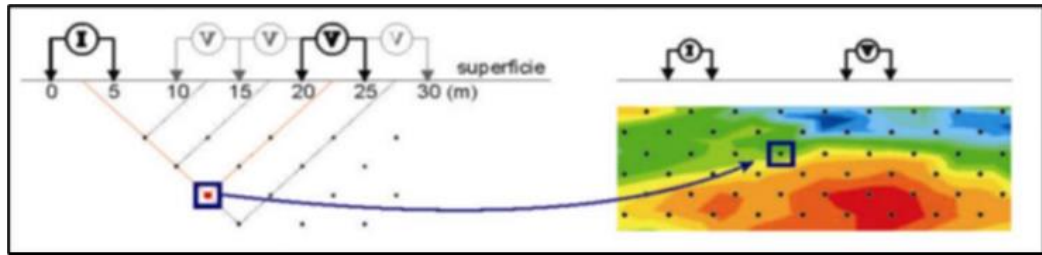
Los métodos eléctricos son pruebas realizadas para determinar las propiedades geotécnicas de un sitio como parte de la exploración geotécnica. La física detrás de este método está relacionada con el siguiente concepto: utilizando un dispositivo electrónico, se aplica una corriente continua a través de un par de electrodos puntuales [C1 y C2] y se lee la diferencia de potencial entre los electrodos. El resto se lee. y pares de electrodos [P1 y P2]. La relación de estas dos cantidades da la resistividad aparente, que depende de la resistencia del material en el sustrato. Knödel & Jürgen (2007).



**Figura N° 11** Principio del método resistivo, dispositivo electrónico lineal (cuadripolar). (Knödel & Jürgen, 2007)

### 2.7.1 Método de Tomografía Eléctrica.

La tomografía eléctrica es un método geofísico que utiliza la teoría del potencial eléctrico y, en virtud de la emisión de una corriente eléctrica al suelo, y dependiendo del material presente, los cambios de potencial eléctrico relacionados con la resistividad de cada roca visible, la resistividad se presenta en las secciones cúbicas 2D y 3D, muestra un diagrama del método de tomografía computarizada. Este método incluye información sobre la distribución de la resistencia del suelo a lo largo de la sección transversal, la variedad de dispositivos de cuadripolo utilizados (dipolo - 10° dipolo, polo - dipolo) y la función principal Su propósito es identificar cambios en la estructura geológica de rocas transversales. tierra. Chávez (2011)



**Figura N° 12** Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica para un arreglo dipolodipolo. (Chávez, 2011)

## 2.8 MARCO CONCEPTUAL

### 2.8.1 La cerrada

También se reconoce por el nombre de la boquilla - es un punto de hormigón o material suelto en el suelo donde se construirá la presa.

### 2.8.2 Taludes

La pendiente del diseño de la presa puede variar dependiendo de los materiales disponibles, el tipo de cimentación y la altura de la presa. En este caso veremos las pendientes requeridas para una base estable, si el sustrato no es estable entonces se requerirán masillas estables y tratamientos especiales para el sustrato. Un sustrato permeable puede requerir la adición de rampas en la parte superior para reducir la filtración o capas de drenaje horizontales debajo para contrarrestar la presión de la filtración. El techo de aguas arriba puede ser más plano que el de aguas abajo para que la presa no se hunda rápidamente; Estas pendientes varían de 2:1 a 4:1. La pendiente típica aguas abajo para pequeñas presas de tierra es de 2:1 cuando el terraplén se extiende hacia la zona permeable inferior y de 2½:1 cuando la presa es impermeable (Cosillo, 1999)



### **2.8.3 Bordo Libre**

El borde libre es la distancia vertical entre la cresta y el nivel normal del agua en la presa. El francobordo mínimo es la diferencia entre la corona y el nivel de agua máximo previsto. Su finalidad es evitar el desbordamiento por oleaje u otros factores de seguridad que afecten al hundimiento de la presa más allá de los previstos por rotura del aliviadero o desnivel del agua por problemas estructurales. La distancia de francobordo donde se ubica la deriva es la distancia que el viento puede actuar sobre la superficie del agua Froilan (2014)

### **2.8.4 Los estribos**

Según Delgado (1996), Estos son los lados de la pared que están en contacto con la valla sobre la que se apoya. Evite las rutas que sobresalgan en pendientes estrechas. Los materiales desgastados o sueltos se deben desenterrar y es posible que se requieran ayudas de rociado. Se debe proporcionar un sistema de control de erosión en la intersección del techo y el estribo de la presa. La pendiente del estribo, la fuerte pendiente del estribo, provoca fisuras por asentamiento del terraplén, especialmente en la parte superior de la presa.

### **2.8.5 La cimentación**

La cimentación de una presa, independientemente de su tipo, debe cumplir las siguientes condiciones:

- Resistencia y estabilidad tanto de la cimentación como del pilar.
- La capacidad de deformarse de acuerdo con la carga de la presa.
- Selle los cimientos y controle las filtraciones eliminando el agua estancada o reduciéndola al nivel necesario para la estabilidad de la presa.





- Evitar la erosión interna y los arañazos.
- Resistencia a sismos e impactos antrópicos (licuefacción, compactación, colapso, fallamiento activo, etc.).
- Resistencia a los movimientos del terreno (deslizamientos, hundimientos, etc.) (Crespo, 1990)

#### **2.8.6 El aliviadero**

Tuberías utilizadas para drenar el exceso de agua de tanques o tuberías.

#### **2.8.7 Las compuertas**

Estos son dispositivos mecánicos diseñados para controlar el flujo de agua a través de una presa.

#### **2.8.8 El desagüe de fondo**

Esto permite controlar los flujos ecológicos aguas abajo de la presa y drenar la presa según sea necesario.

#### **2.8.9 Nucleo impermeable**

Es un elemento de la presa que cierra el valle al flujo de agua contenida en un embalse o vaso Juárez (1996)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA

Una investigación donde la búsqueda de información se combina con fuente teórica y al mismo tiempo recolectar datos en campo, luego se establece un método cuantitativo sino también descriptiva.

##### 3.1.1 Tipo de investigación

Este trabajo de investigación es de tipo descriptivo, aplicado causa – efecto. En cuanto a las propiedades y características geotécnicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación, base a sus propiedades físicas y mecánicas que exhiben.

#### 3.2 ETAPA Y REVISIÓN, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para efectos de este trabajo de investigación se realizó una planificación de acuerdo a la metodología utilizada y se analizó y recopiló información bibliográfica relacionada con el tema de investigación.

Las referencias incluyen: artículos científicos, tesis, artículos; por lo tanto, conocer el estado del conocimiento sobre las características geotécnicas para el diseño de cimentación de presas y la metodología relacionada con las características geotécnicas y las propiedades físicas mecánicas, parámetros geotécnicos, el porcentaje de humedad del suelo para determinar la porosidad del suelo.

### 3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATO

El área de estudio de la presa de Ccosama es de 1204776.67 metros cuadrados Fig. 25, se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geotécnico del área y más sus influencias, se determina realizar ensayos geofísicos de tres líneas de refracción sísmica, más un ensayo de MASW 2D y dos ensayos MASW 1D en las mismas líneas, otros dos ensayos adicionales de tomografía eléctrica, tres pozos de perforación diamantina cada uno de treinta metros de profundidad con ensayos de lefranc y lugeon a cada tres metros de profundidad, y seis excavaciones de calicatas en el eje de la presa y tres excavaciones de calicatas en el vaso de la presa a una profundidad 2.50 m máximo.

De estos ensayos se obtiene los datos: las características y sus propiedades del suelo que determinan el estado del material del suelo, la topografía y geometría del área expuesta analizada. A continuación de desarrolla detalladamente los trabajos geológicos y geotécnicos.

- ✓ Cartografiado geológico local.
- ✓ Refracción sísmica y Tomografía eléctrica
- ✓ Perforación Diamantina.
- ✓ Excavación de calicatas

#### 3.3.1 Cartografiado del área de estudio

Para identificar y describir a detalle la litoestratigrafía, geomorfología, y agentes geodinámicos que pueden estar presentes en el proyecto, se realizó un recorrido por la zona de estudio, áreas de la presa y embalse propuesto. La evaluación geológica local propone reconocer las unidades litoestratigráficas



primarias o más relevantes, y con esta información se pueden evaluar los principales componentes de los materiales.

Se sitúa en la zona de estudio sobre los materiales cuaternarios como depósitos coluviales y morrénicos formados por gravas, arenas y limos en superficie; estos materiales cubren la mitad superficial de la roca madre. La combinación de elementos fisicoquímicos y procesos geodinámicos, a saber, la erosión y el movimiento de sedimentos, dio lugar al desarrollo de estos diferentes procesos morfodinámicos locales en el área de la presa.

Se identificó las distintas geoformas en la zona de la presa tuvo en cuenta el relieve o topografía, la pendiente o inclinación del terreno, las características litológicas como la formación de rocas y suelos, la edad de formación de las unidades estratigráficas y las características estructurales.

### **3.3.2 Refracción sísmica**

En el área de estudio se realizó tres líneas sísmicas en el eje de la presa para conocer las longitudes de onda refractadas para optimizar la adquisición de datos e identificar mejor los cambios de velocidad con la profundidad y así determinar el número de capas por estudio, a partir de los datos sísmicos de  $V_p$ ,  $V_s$  y datos eléctricos de resistividad y conductividad, es determinar las características geológicas y parámetros pseudodinámicos del subsuelo en la zona de estudio, para que finalmente estos resultados puedan corroborar y extrapolar información obtenida de métodos directos de investigación como calicatas o sondajes realizados en el lugar.



Se realizó 01 línea sísmica con intervalos de 5m de separación entre geófonos denominada LS y con una extensión total de 375 m de cable tendido, siendo realizada en 03 tramos.

Se realizaron 02 líneas sísmicas de 3m de separación entre geófonos, denominadas LS con una extensión de 75 m de cable tendido.

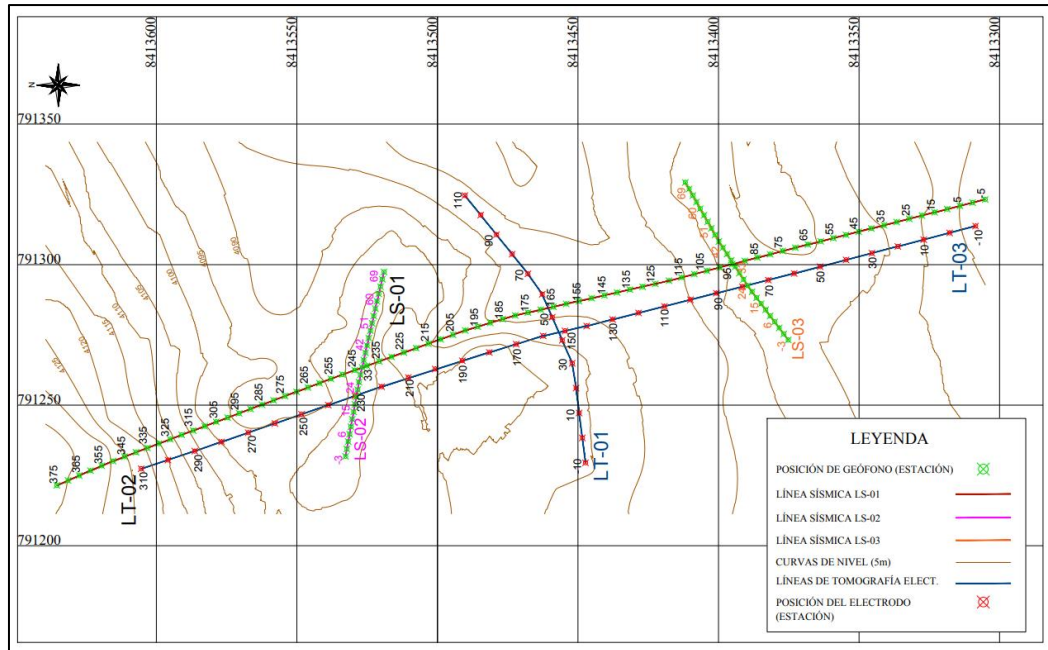
Para lograr alcanzar profundidad se hicieron golpes o shots fuera de línea con la intención de aumentar el offset del dispositivo y así mismo su extensión.

### **3.3.3 Ensayos de MASW 1D y2D**

Se realizó 01 sección de MASW2D con un espaciamiento entre geófonos de 5 m para la LS-01 por lo que la longitud total ensayada fue de 375m.

Se realizó 02 ensayos de MASW1D puntuales con un espaciamiento de 3m.

Para los ensayos sísmicos se utilizó una comba de 20 libras con la finalidad de mejorar la relación de señal /ruido. Así también se empleó la técnica de acumulación de golpes para una misma lectura, considerando que la zona se encuentra en zonas de puentes, zonas inestables y zonas de túneles, para así lograr obtener un control de calidad de los datos.



**Figura N° 13** Ubicación de puntos de refracción sísmica y tomografía eléctrica

### 3.3.4 Tomografía Eléctrica

En el área de estudio se realizó 2 líneas de tomografía eléctrica y el procesamiento se realizó mediante el método del módulo Res del programa Prosys II y se visualizaron los valores obtenidos junto con las tasas de error. Como primer paso, el control de calidad (QC) se realizó mediante la observación in situ de la diferencia de potencial para cada dipolo de lectura, excepto para las lecturas en las que el nivel de ruido excedía el 5 %. Se repitieron dos veces para cada punto de medición para asegurar lecturas repetidas y obtener un buen control de calidad.

**Control de calidad:** Las lecturas de campo se monitorearon observando el porcentaje de error en la resistencia aparente para cada lectura, con mediciones duplicadas tomadas en cada punto para asegurar la repetibilidad. Además de estas observaciones, se investigaron las diferencias de potencial para determinar si la información correspondía a un nivel de profundidad adecuado.



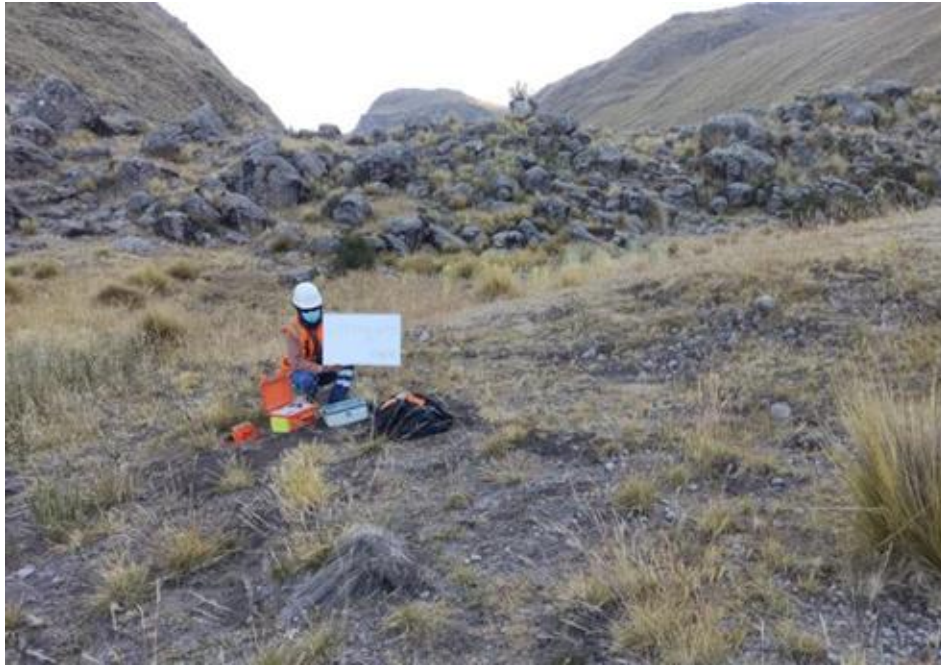
**Proceso de inversión:** Se utilizó un programa de inversiones para validar los resultados. El software utiliza el método de elementos finitos y el método diferencial finito para crear celdas rectangulares independientes en las que los valores del modelo permiten cambios en las tres direcciones simultáneamente.

**Presentación de los datos eléctricos:** Los resultados del proceso de inversión se presentan en la sección de la línea medida hasta una profundidad de 30-35 metros donde se puede hacer diferenciaciones del comportamiento geológico en la zona de estudio.

El resultado final de este tipo de estudio es una Imagen distancia profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos, geotécnicos o ambientales como demuestran los diversos ejemplos que se presentan.

Para el método de tomografía eléctrica, la presentación de los datos y los resultados se hace a través de:

**Perfiles bidimensionales:** Gracias a esta visión bidimensional de alta resolución, este método eléctrico permitirá detectar zonas susceptibles a filtración, así como caracterizar la estimación de la profundidad.



**Figura N° 14** Representación del equipo instalado para adquirir la información de campo.

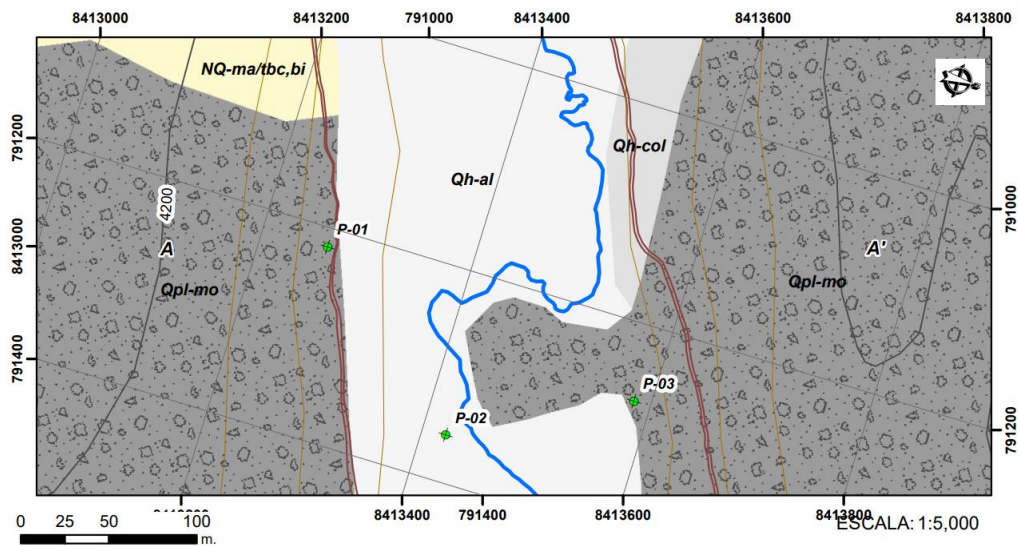
### **3.3.5 Perforación diamantina**

Se ejecutó tres (03) perforaciones diamantinas, en el eje de la presa proyectada, estas perforaciones cuentan con recuperación de muestras, completando un total de 90.50 metros en profundidad con la necesidad de conocer las condiciones geotécnicas y las características geotécnicas del terreno para construcción de la presa.

- **Ensayo de Permeabilidad in situ**

Para determinar el grado de infiltración de agua de los materiales presentes en el área de estudio, se realizó la prueba de permeabilidad in situ, se determinó la permeabilidad del suelo a partir de los datos registrados y evaluados, para lo cual se realizó pruebas de lefranc en el área de la presa Ccosama, Haquiira.





*Figura N° 15* Ubicación de los sondajes diamantinos



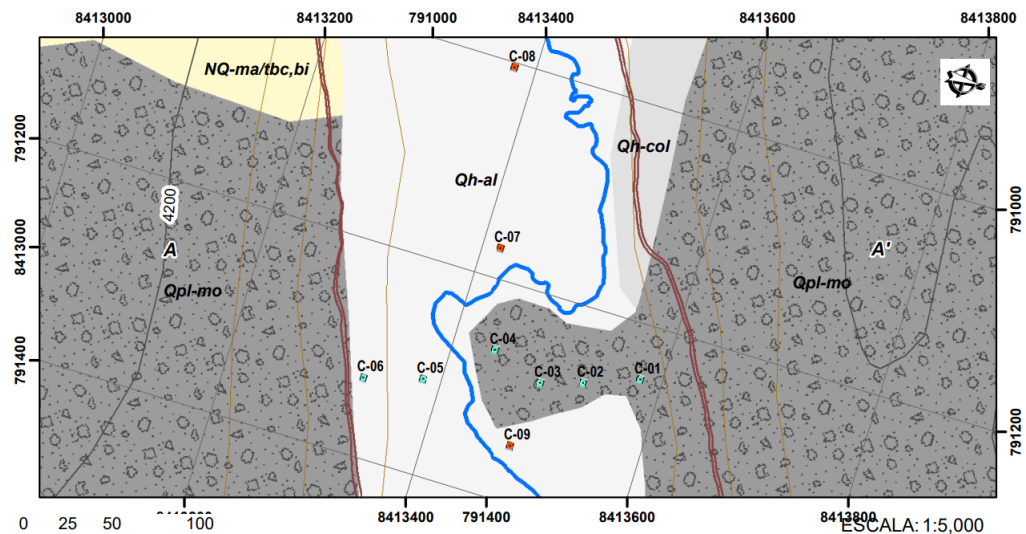
*Figura N° 16* Vista del ensayo de Lefranc

### 3.3.6 Excavaciones de calicatas

En área de estudio se realizó 6 calicatas en el eje de la presa y 3 calicatas en el vaso de la presa, de tal manera que nos permita identificar el perfil estratigráfico y los parámetros de resistencia de cada estrato que conforma el subsuelo.

La excavación de calicatas, se efectuaron siguiendo los lineamientos según normas ASTM D-2488 y ASTM D-420, donde la profundidad mínima de 1.5 metros, sin embargo, en algunas excavaciones la profundidad de excavación estuvo limitada por la presencia de bloques de roca, razón por la cual se finalizó la excavación. Las excavaciones de las calicatas se efectuaron manualmente, hasta alcanzar la profundidad deseada.

Los especímenes se colocaron en bolsas de muestreo plástico, cada una con su propia tarjeta de identificación. La tarjeta de identificación debe entregarse al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima.



**Figura N° 17** Ubicación de calicatas realizadas en el vaso y eje de presa



**Figura N° 18** Excavación de calicatas realizadas en el in-situ

### **3.3.7 Análisis de laboratorio de mecánica de suelos**

Con el fin de realizar un análisis mecánico del suelo, se realizó (9) puntos de sondeo (calicata), se determinó la densidad natural, se identificaron los puntos de sondeo, la cobertura del área de desarrollo.

- Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D-1557)
- Ensayo de densidad con cono de arena.
- Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual - manual).
- Ensayo de densidad natural.
- Extracción de muestras representativas.
- Muestras de ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos.
- Ensayo de contenido de humedad.
- Ensayo de Análisis Granulométrico.
- Ensayos de Limite Líquido.
- Ensayo de Limite Plástico.
- Ensayo de Corte Directo.

### 3.3.8 Ensayos de laboratorio

Los ensayos estándares y especiales fueron ejecutados por la empresa Laboratorio de Mecánica de Suelos, Certificada por INACAL, ubicado en la ciudad de Lima. Los ensayos de laboratorio se realizaron en el Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería Civil, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, cuyos ensayos están referidos bajo la normativa del ASTM D 3148, D 2918.



*Figura N° 19* Ensayos de laboratorio de suelos

### 3.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos en campo son procesados en el laboratorio especializado utilizando el programa informático Microsoft Excel, para saber los tipos de rocas y suelos con el ensayo de este laboratorio de determino el contenido de humedad, granulometría y otros aspectos de suelos.

### 3.5 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales utilizados en este trabajo de investigación son:

- Mapa base.
- Mapa topográfico.
- Mapa de ubicación.
- Imágenes satelitales.



- Tablas de apoyo.
- Formatos.
- Data de ensayo de laboratorio.
- Bolsas Para Muestra.
- Útiles de escritorio

Instrumentos utilizados para recopilar datos para la evaluación geotécnica del área de estudio es:

- Flexómetro 5 m.
- Wincha 50 m.
- GPS.
- Brújula.
- Picota de Geólogo.
- Pala.
- Barreta.
- Pico.

En el trabajo de investigación se utilizaron los siguientes equipos:

- Equipos de laboratorio de suelos
- Perforación diamantina
- Equipos de refracción sísmica
- Laptop.
- Impresora.
- Cámara fotográfica.



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 UBICACIÓN

El Proyecto se desarrolla en la comunidad de: Ccosama, ubicada en el distrito de Haquira, Provincia de Cotabambas, Región de Apurímac. **Ver Anexo N° 01**

##### Ubicación política

Región : Apurímac  
Provincia : Cotabambas  
Distrito : Haquira  
Localidad : Ccosama

##### Ubicación geográfica

Respecto a su ubicación geográfica basada en el Datum WGS84 zona 18 las coordenadas extremas del punto de captación hacia la divisoria de cuenca se emplazan entre:

Norte (m) : 785643.42 - 795259.11  
Este (m) : 8408050.35 - 8414749.55  
Altitud (msnm) : 3820 – 4830



## 4.2 ACCESIBILIDAD

Para acceder a la presa Ccosama, desde Lima – Ayacucho – Abancay Tambobamba - Haqira, se encuentra a una distancia de 1893 km aproximadamente.

**Tabla 3.**

*Acceso al área de estudio vía terrestre*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Tiempo (Hrs)</b>	<b>Tipo de vía</b>
Lima – Ayacucho	569	8	Asfaltado
Ayacucho – Abancay	981	6	Asfaltado
Abancay - Tambobamba	285	7	Asfaltado
Tambobamba – Haqira	58	2	Afirmado
Haqira – Ccosama	42	1	Afirmado
<b>Total</b>	<b>1935</b>	<b>24</b>	

## 4.3 CLIMA

Según la clasificación del SENAMHI (1988), tomando como base datos meteorológicos, así como los principales factores determinantes del clima, latitud, altura sobre el nivel del mar, cordillera de los Andes, corrientes costeras peruanas (aguas frías agua), anticiclones en el Pacífico Sur y continental; En base a ello se construyen los indicadores climáticos basados en el Sistema de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite, con este enfoque metodológico la zona de estudio presenta clima frío y sequedad concentrada de la atmósfera en tierras altas, y mucho frío en las cumbres nevadas. La temporada de lluvias comienza en octubre y termina en marzo.

## 4.4 FISIOGRAFÍA

El área de Haqira exhibe diferentes características físicas como resultado de la interacción de diferentes factores estáticos como la litología, la tectónica y factores



dinámicos como el clima, la degradación y la acumulación que se han formado a partir de estos paisajes a lo largo del tiempo. A su vez, las formas superiores del paisaje son las formas y características específicas del relieve, la petrografía y los procesos independientes y diversos de formación de formas que definen las unidades básicas de análisis físico y geográfico, denominadas unidades de paisaje (unidades fisiográficas). Estos terrenos están representados por diferentes rangos de pendiente desde terreno plano de 0 a 4% (0 a 2°), terreno empinado e incluso casi vertical por encima del 75% (por encima de 36°) como se muestra.

## **4.5 ESTRATIGRAFÍA**

### **4.5.1 Grupo barroso**

Nombre designado por S. MENDIVIL (1965) a un conjunto de rocas volcánicas, formado principalmente por derrames y piroclásticos de naturaleza andesítica, traquítica y traquiandesítica.

En el cuadrángulo de Santo Tomas esta, el Grupo Barroso ha sido diferenciado en dos unidades: la inferior denominada Volcánico Malmanya y la superior Volcánico Vilcarani y que corresponderían posiblemente a los denominados por S. MENDIVIL como Volcánicos Chila y Barroso, respectivamente.

#### **a) Volcánico Malmanya**

En el área de estudio de la presa Ccosama solo aparece el volcánico Malmanya mas no el volcánico Vilcarani, aflora a ambos flancos de la quebrada Ccosama.





Litológicamente, está constituido por derrames andesíticos, dacíticos, traquiandesíticos y riodacíticos, con predominancia más dacítico la toba; son de origen fisural y se presentan en capas horizontales de 1 m. a más de 5 m. de grosor, bien estratificadas. En corte fresco tienen una coloración, predominantemente gris claro, con tonalidades rojizas, moradas y gris verdosas, y en superficies intemperizadas toman un color claro a rojizo o gris morado. En sección delgada son generalmente de textura porfiroide y otras rocas en menor escala, presentan textura afanítica con matriz vítrea, fluidal y microlítica.

### **3.1.1 Depósitos Resientes**

Los depósitos recientes están constituidos por depósitos glaciáricos (morrenas) y fluvioglaciares, el Volcánico Santo Tomás y depósitos Aluviales, en cuadrángulo de Santo Tomas.

#### **a) Depósitos Glaciares y Fluvioglaciares**

Se han diferenciado dos etapas de acumulación morrénica como producto de la actividad glaciaria cuaternaria. Las más antiguas se presentan bastante erosionadas apenas reconocibles y sus relictos muestran que la parte frontal llegaba hasta los 3,600 m.s.n.m. Están constituidas por bloques y gravas angulosas de diferentes tipos de rocas, englobados en una matriz de arena en parte tufácea.

La edad de estos depósitos es de pleistoceno a reciente de acuerdo con las evidencias geomorfológicas observadas en el campo.

#### **a) Volcánico Santo Tomás**

En los alrededores del pueblo de Santo Tomás y en la parte nor-occidental de la hoja de Chalhuanca existen tufos y cenizas como productos de una actividad



volcánica muy reciente, a los cuales se les denomina en el presente estudio Volcánico Santo Tomás. Mas no se encuentra dentro del área de estudio de la presa Ccosama.

Para determinar la edad aún no se cuenta con dataciones radiométricas para fijar su edad; sin embargo se tiene referencias de que estos productos volcánicos son muy recientes, desde que yacen sobre depósitos o terrazas modernas, tal como sucede en las hojas adyacentes ubicadas al norte de estos cuadrángulos.

#### **b) Depósitos Aluviales**

El material aluvial se halla en los cauces antiguos y recientes y en las laderas de los valles y quebradas, formando respectivamente terrazas y conos aluviales. Algunas terrazas

se encuentran a más de 150 m. sobre el nivel de los cauces de los ríos actuales, como consecuencia del levantamiento reciente de los Andes y el subsiguiente rejuvenecimiento de los ríos que han labrado profundos valles en V. Ejemplos notables de estas terrazas se vé en el río Chalhuanca a la altura de su confluencia con el río Aparaya donde se asienta la hacienda San Francisco y en el río Vilcabamba, cerca de la desembocadura del río Chuquibambilla. Otros ejemplos. Otros ejemplos menores se aprecian en ciertos trechos del río Vilcabamba y Santo Tomás, próximos al pueblo de Mara.

Los conos aluviales están adosados a las laderas bajas de los cerros de los dos flancos en la quebrada de Ccosama, como pie de monte. Las gravas que forman estos depósitos se han acumulado mayormente por efectos de la gravedad

y evidencian poco transporte. Buenos ejemplos de este tipo de depósitos se observan en las laderas de los valles principales.

#### 4.6 GEOLOGIA LOCAL

El área de influencia del estudio abarca varias unidades litológicas volcánicas y volcánicas sedimentarias también existe presencias de depósitos cuaternarios todas estas unidades son descritos en los siguientes puntos. **Ver Anexo N° 02**

##### 4.6.1 Complejo volcánico Malmanya (NQ-ma/tbc.bi/pg)

Este complejo volcánico está constituido de tobas soldadas de cristales con biotita, plagioclasas dentro de una matriz afanítica tiene una coloración gris pardusca, los afloramientos rocosos corresponden a esta unidad litológica y puede verse en ambos flancos del valle como se muestra en las Figura, Estos afloramientos cubren todo el valle de la quebrada Ccosama también la laguna Micachulluchino. Los afloramientos más representativos se encuentran en los cerros Condorparca y Llicachulluchina.



**Figura N° 20** Afloramientos rocosos del complejo Malmanya



#### **4.6.2 Depósitos Morrénicos**

Está conformado por Fragmentos heterogéneos angulosos a subangulosos, diámetro variable en su matriz, con limos, arenas y gravas; estos depósitos afloran al NE del área de estudio.

#### **4.6.3 Depósitos Fluvioglaciares/Aluviales**

Estos depósitos están compuestos por materiales de gravas, arenas en matriz limo-arenosas. Arenas y materiales residuales no consolidados y mal seleccionados en matriz, limo arenosas. Están en las laderas y quebradas del valle dentro de la zona de estudio, formando terraza y conos aluviales.

#### **4.6.4 Depósitos cuaternarios (Quilmo)**

Estas acumulaciones de sedimento y componentes líticos tienen tamaños hasta más de un metro con una matriz arenosa milimétrica a subcentimétrica.

Los depósitos cuaternarios están constituidos mayormente por gravas y otros de elementos redondeados y angulosos, dentro de una matriz areno-limo, presentan una grosera estratificación, que se acuña entre capas de arena y limo. El grosor de estos depósitos varía desde unos cuantos metros a más.

### **4.7 GEOMORFOLOGÍA**

El área de estudio se ubica en la Cordillera de los Andes occidental, cuya geomorfología es el resultado de procesos endógenos (tectónicos) de levantamiento de los Andes y exógenos (principalmente glaciares y erosión glacial) modelados. Estos relieves difieren de sus características litológicas. **Ver Anexo N° 03**



#### **4.7.1 Montaña con roca volcánica (MR-rv)**

Esta unidad geomorfológica está ubicada en la parte Nor Oeste del área de estudio y cubre en buena proporción la ubicación de la futura presa, Esta unidad geomorfológica está constituido de la meteorización de rocas volcánicas que pertenecen al complejo de volcánico Malmanya, Son rocas resistentes al intemperismo ambiental, en la ladera forma depósitos aluviales, en la misma roca son los alineamientos y diaclasas son causantes de la formación de la morfología.

#### **4.7.2 Colina en roca volcano-sedimentaria (RC-rvs)**

Esta unidad geomorfológica está ubicada en la parte Sur del área de estudio, Esta unidad geomorfológica está constituido de la meteorización de rocas volcánicas que pertenecen al complejo de volcánico Malmanya, tiene intemperización de la forma de disyunción esferoidal.

#### **4.7.3 Valle glaciar (Vll-gl)**

Esta unidad se presenta en el área de estudio y encuentra al SE y se generan cuando un glaciar atraviesa y desciende una ladera, socavando el valle.

#### **4.7.4 Morrenas (Mo)**

Esta unidad geomorfológica se presenta en el área de estudio como lomadas relativamente suaves, las morrenas se presentan de forma perpendicular a las montañas principales formadas por rocas volcánicas, un ejemplo de estas unidades geomorfológicas son los mostrados en el plano geomorfológico, estas son dos morrenas laterales en la parte inferior de donde se va ubicar la futura presa, en el medio de ellos se forma un valle en forma de U tipo de este tipo de formaciones geomorfológicas.



#### **4.7.5 Vertiente o piedemonte coluvial-diluvial (VII-gl)**

Esta unidad se presenta en el área de estudio y se encuentra el vaso de la presa, está conformada por la deposición de los materiales de origen coluvial y diluvial, deposito cuaternario.

### **4.8 RIESGO GEOLÓGICO**

#### **4.8.1 Movimiento de masas**

Los movimientos en masa (MenM) más frecuentes en la región son las caídas de rocas (desprendimientos y derrumbes), los deslizamientos y los flujos de detritos (llamados huaicos en Perú). En los sectores de alta y muy alta susceptibilidad, se producen recurrentemente movimientos en masa que ocasionan desastres, teniendo como “detonantes” las intensas precipitaciones pluviales periódicas y/o excepcionales (Fenómeno El Niño).

Para el área de estudio las clasificaciones de movimiento de masa son:

- Muy bajo (1), terrenos con pendientes menores a  $5^\circ$  donde no existe indicios que permitan predecir deslizamientos. Laderas no meteorizadas, con discontinuidades favorables.
- Bajo (2), Zonas que tienen pocas condiciones para originar MenM ocurridos en zonas de susceptibilidad alta a muy alta cercanas a ellas, detonadas principalmente por lluvias excepcionales, laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionados, no saturados, con pocas discontinuidades favorables. Pendientes entre  $10^\circ$  a  $20^\circ$ . Se incluyen MenM causados por erosión fluvial.
- Media (3), laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, modernamente meteorizados, laderas con pendientes



entre 20° y 30°, donde han ocurrido algunos MenM y no existe completa seguridad de que no ocurran. MenM. Estos pueden ser detonados por sismos y lluvias excepcionales.

- Alta (4), laderas que tienen zonas de falla, masas de roca con meteorización alta a moderada, fracturadas con discontinuidades desfavorable; depósitos superficiales consolidados, materiales parcialmente a muy saturados, laderas con pendientes entre 25° a 45°, donde han ocurridos MenM o existe la posibilidad de que ocurran.
- Muy alta (5), con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidad desfavorables, depósitos superficiales consolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran MenM.

Los detalles de los movimientos de masa son mostrados en el Mapa N°06 Movimientos de masa de niveles altos se encuentra en las partes más altas tienen un alineamiento de 45° todo estos corresponden a material cuaternario, principalmente depósitos aluviales y coluviales en la parte altas son formados como partes de la meteorización. Los niveles alta se encuentran en su mayoría están en materiales morrenas.

#### **4.9 SISMICIDAD**

En el área de estudio se han identificado varias unidades geomorfológicas en cuyo modelado Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP) 2014, publicado en el artículo “Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en el Perú”. En el área de estudio la presencia de sismos no se registra intensidades máximas a VII (escala



de Mercalli Modificada (MM)) en los últimos 55 años, existe casos puntuales al norte del área de estudio que han llegado a intensidades máxima entre VII a VIII (MM). Además, a las altitudes mayores de 4,000 msnm donde se encuentra el proyecto de investigación, la corteza oceánica es las partes más profundas por lo que la presencia de sismos de gran magnitud es poco probable.





## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 CONDICIONES GEOLÓGICAS DE TERRENO DE FUNDACIÓN PARA CIMENTACION DE PRESA

##### 5.1.1 Condiciones geológicas

El área de estudio está conformada por el complejo volcánico Malmanya por tobas soldadas de cristales con biotita, plagioclasas dentro de una matriz afanítica tiene una coloración gris pardusca, los afloramientos rocosos corresponden a esta unidad litológica y puede verse a ambos flancos del valle como se muestra en las **Figura 21**, Estos afloramientos cubren todo el valle de la quebrada Ccosama, también la laguna Micachulluchino. Los afloramientos más representativos se encuentran en los cerros Condormarca y Llicachulluchina.

La zona de estudio también está cubierta de materiales cuaternarios como depósitos coluviales y morrénicos. También tenemos bofedales con humedad cubiertas de vegetación. Debajo de estos sedimentos cuaternarios se encuentra las rocas tobas soldadas, compuesto cristales de plagioclasas con una matriz vítrea, cuarzo y biotita, dentro de una matriz fanerítica con una ligera coloración pardusca gris claro, aflorando en los flancos de la presa Ccosama en sus partes altas.



**Figura N° 21** Complejo volcánico de Malmanya



**Figura N° 22** Fotografía del área de estudio

Estos depósitos aluviales se encuentran en la zona de investigación. Son depósitos de conos aluviales y algunas terrazas asociadas a las desembocaduras de los principales arroyos cercanos a los valles fluviales. Grandes trozos de rocas subangulosos a subredondeados y gravas están rodeados por una matriz arenoso-limosa. El tamaño de los clastos polimícticos oscila entre milímetros y centímetros. Afloran en las laderas de los valles, rellenando las actuales lagunas hidrográficas.



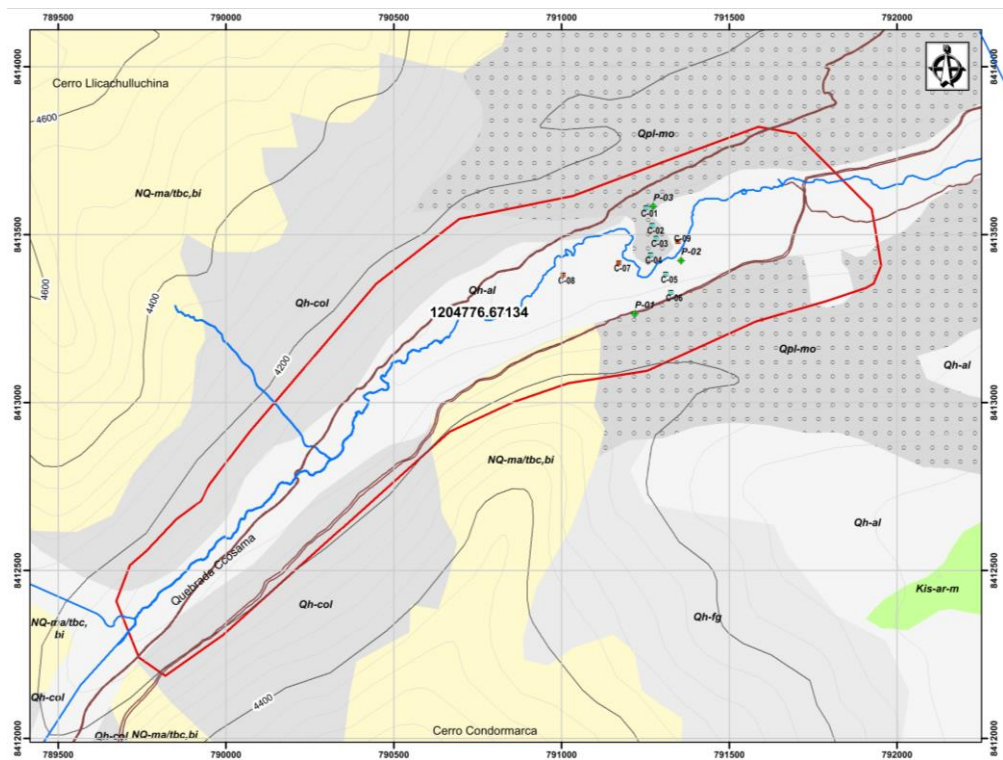
**Figura N° 23** Deposito coluvies, calicata en el eje de la presa

También hay depósitos morrénicos de origen glaciario con gravas con diámetros que van desde <2 hasta <8 pulgadas con intercalaciones de limo arenoso sub angularo ligeramente húmedos, estos depósitos presenta bloques alóctonos fracturados de hasta 2m a más, se evidencia toba volcánica compuesta por cristales y una matriz vítrea de plagioclasas, cuarzo y biotita de color gris claro.





*Figura N° 24* Depósitos morrénicos del área de estudio



*Figura N° 25* Geología local de área de estudio

## 5.2 PARAMETROS GEOTÉCNICAS DE LA PRESA CCOSAMA - HAQUIRA

### 5.2.1 Investigación geofísica

#### a) Resultados de refracción sísmica

El ensayo de refracción sísmica, se realiza una línea con 24 geófonos, 03 líneas sísmicas con intervalos de 3 m de geófono a geófono (LS-02 y LS-03) y también a 5 m de geófono a geófono (LS-01).

**Tabla 4.**

*Ubicación de las líneas sísmicas*

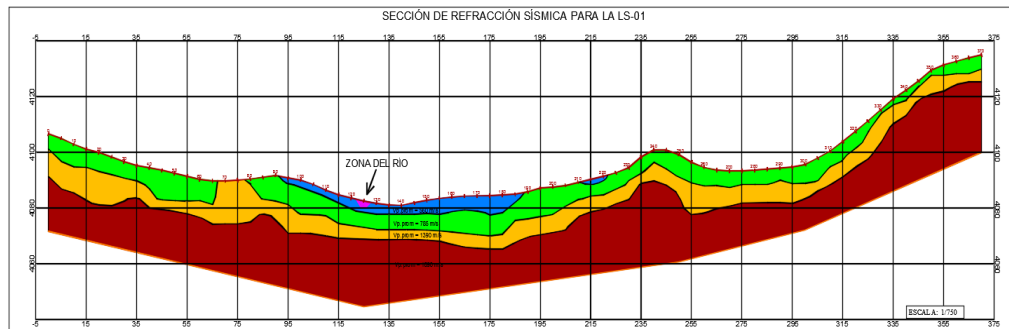
LÍNEA SÍSMICA	ORIENTACIÓN	ESTE	NORTE	ESTACIÓN
LS-01	INICIO	791323.179	8413305.108	-5
	FIN	791221.422	8413635.39	375
LS-02	INICIO	791231.772	8413532.687	-3
	FIN	791297.388	8413518.981	72
LS-03	INICIO	791273.184	8413375.203	-3
	FIN	791329.223	8413411.795	72

Con la refracción sísmica se determinó los parámetros geotécnicos del subsuelo en la zona de estudio, para que finalmente estos resultados puedan corroborar y extrapolar información obtenida de métodos indirectos de investigación realizados en el lugar.

#### 1.a LINEA SISMICA LS-01

En la línea sísmica LS-01, superficial está conformado por materiales en condiciones antrópicas de formaciones recientes suelo húmedo, presenta velocidades de Onda P de variable que alcanza a 560 m/s que está asociado a la primera capa, la segunda y la tercera capa por el contrario está asociado a la presencia de suelos mixtos con predominancia fina y fragmentos rocosos, pero con mayor compactación sus velocidades de ondas P van desde 785 m/s hasta

1390 m/s , finalmente en profundidad la última capa está asociada a la presencia de un macizo rocoso con distintos grados de alteración se puede encontrar velocidades de 1890 m/s; sin embargo, las velocidades altas también están asociados a la presencia de mayor humedad en los materiales. **Ver anexo N° 04**



**Figura N° 26** Distribución de capas de las velocidades de ondas P para la LS-01

## 2.a LINEA SISMICA LS-02

Los estratos intermedios presentan velocidades ondas P que aumentan de forma creciente pudiendo encontrar suelos mixtos con predominancia de finos y algunos fragmentos rocosos en los primeros metros, en profundidad las velocidades aumentan considerablemente logrando superar los 1600 m/s estas velocidades están asociados a la presencia de un macizo rocoso con distintos grados de alteración. Cabe mencionar que el eje de la presa está asociado a la línea sísmica LS-02 que presenta velocidades menores puede asociarse a materiales con un comportamiento menos resistente que en el eje perpendicular debido a la anisotropía de los materiales. **Ver anexo N° 04**

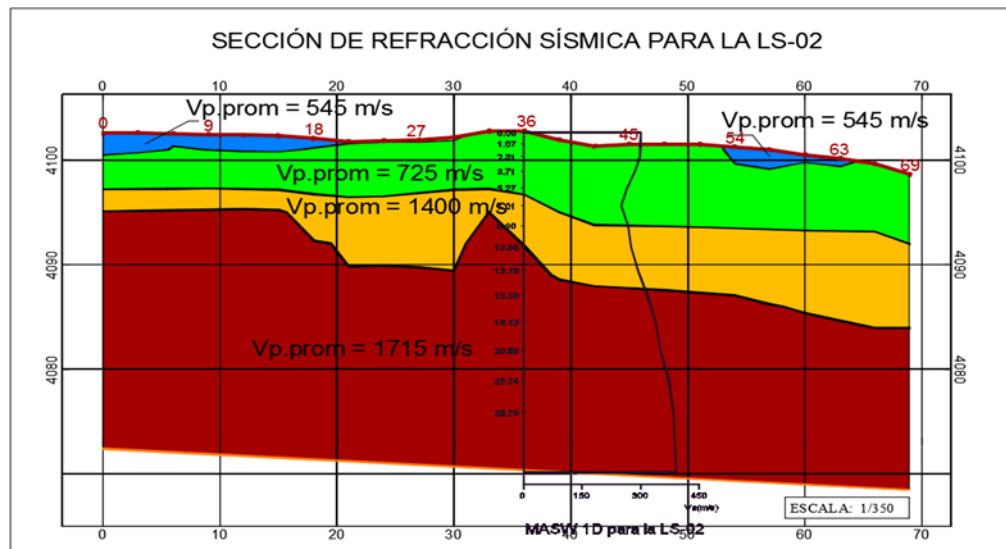


Figura N° 27 Distribución de capas de las velocidades de ondas P para la LS-02

### 3.a LINEA SISMICA LS-03

El perfil muestra un incremento progresivo de velocidades ondas P, asociados a suelos mixtos con predominancia de finos y/o algunos fragmentos rocosos. En profundidad las velocidades incrementan pudiendo incluso encontrar macizo rocoso con distintos grados de alteración, las velocidades llegan hasta 1700 m/s debido al comportamiento del material. **Ver anexo N° 04.**

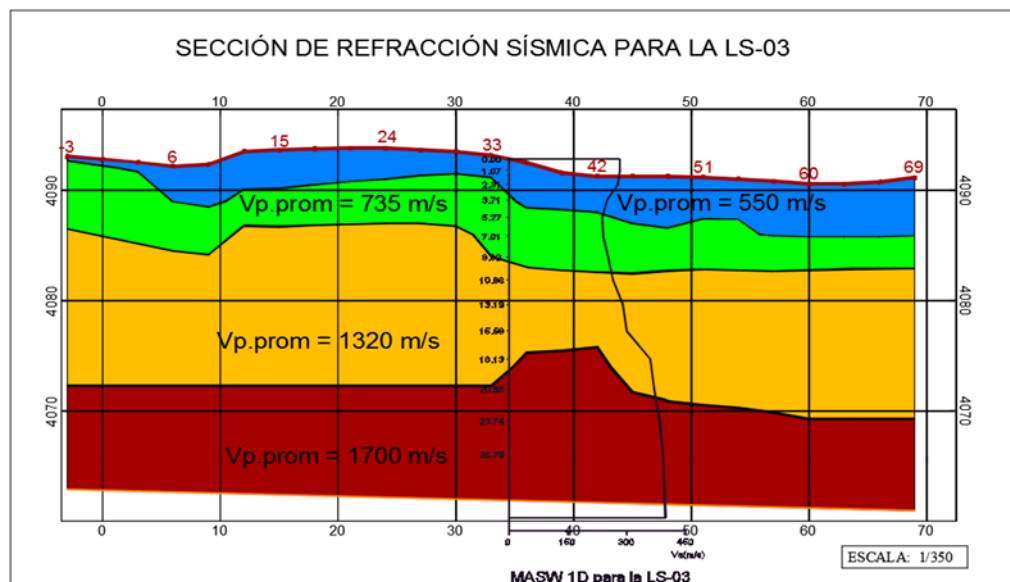
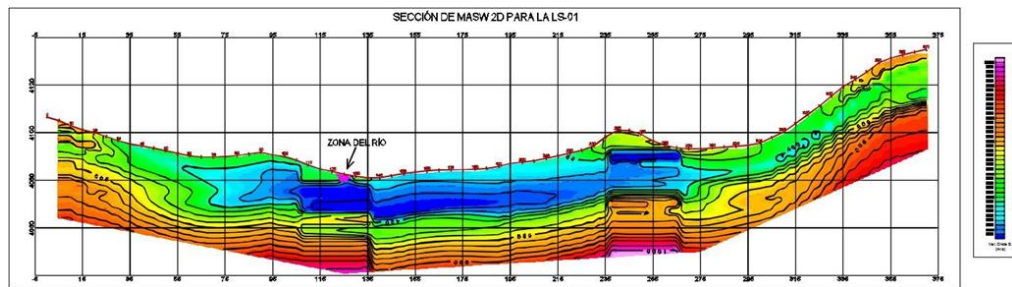


Figura N° 28 Distribución de capas de las velocidades de ondas P para la LS-03

## b) Resultados de los ensayos de MASW 1D y 2D

Ensayos de ondas superficiales (MASW) se realizó 01 ensayos de MASW 2D y 02 MASW 1D, distribuidos en la zona de interés con intervalos entre sensores de 3 a 5 m distribuidos en la zona de interés.

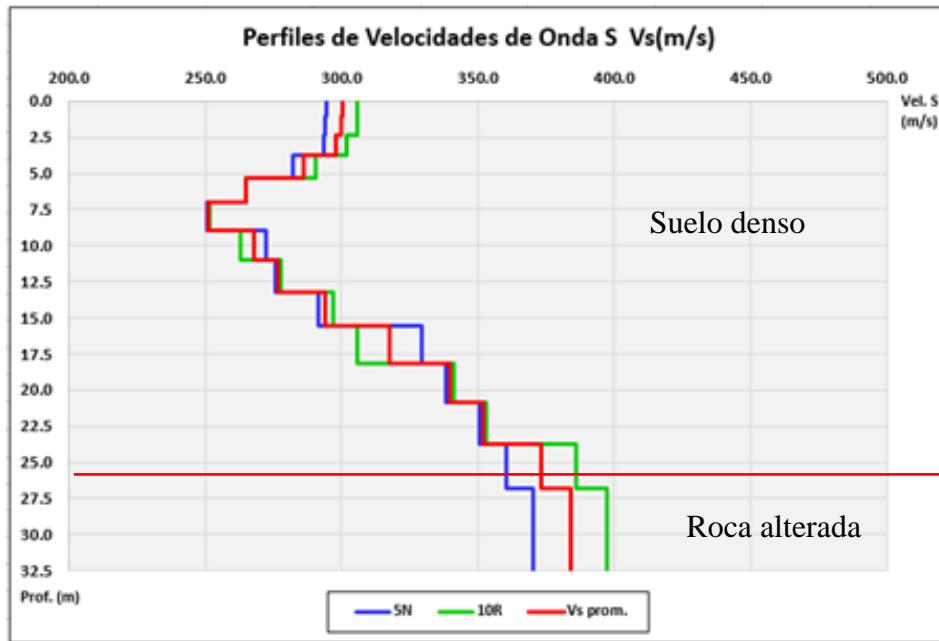


**Figura N° 29** Sección de MASW 2D para la LS-01

Nota. En la figura 29. La sección de Masw 2D para la LS-01, presenta una variación de velocidades de onda S. En profundidad, por encima de los 10m se aprecian velocidades más altas, las cuales están asociados a la presencia de un macizo rocoso en condición alterada y/o con distintos grados de fracturación en los primeros metros y un macizo de buena calidad en profundidad. Asimismo, el perfil medio de la sección se clasifica como S2, perteneciendo a un perfil de consistencia compacta y/o densa, se recomienda se analice con mayor detalle la zona con coloraciones azules a celestes pues estas zonas pueden llegar a contener estratos más susceptibles a tener cambios en su resistencia al corte. **Ver anexo N° 05.**

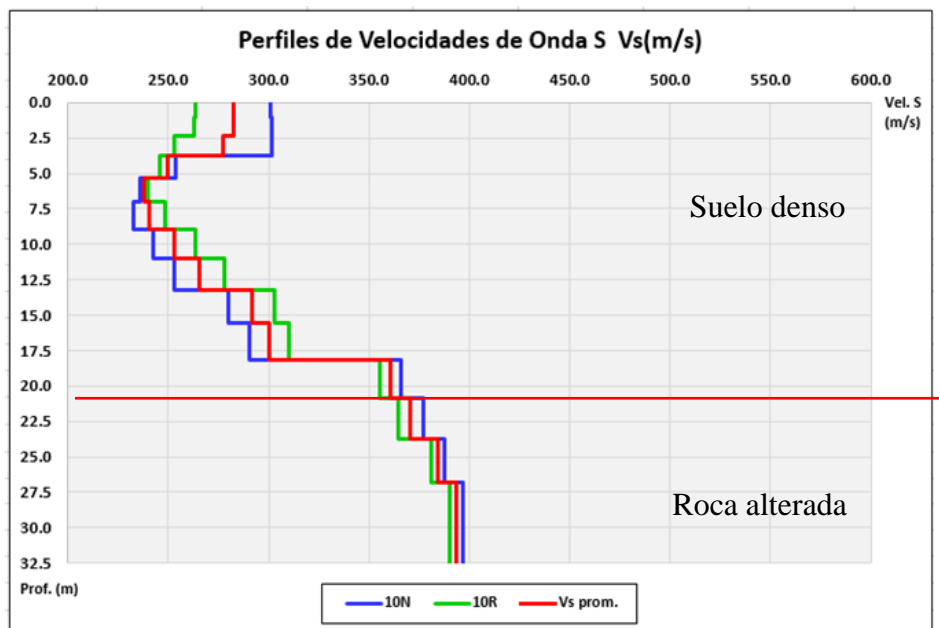
En todos los casos las velocidades de Onda S se encuentran por encima de los 180 m/s por lo que de acuerdo al apartado de la E030 la zona no presentaría problemas de licuación, sin embargo, de observarse este fenómeno, se recomienda se analice con mayor detalle la zona de coloración azul-celeste, pues pueden tratarse de materiales susceptibles a cambios en su resistencia al corte.





**Figura N° 30** Velocidad de onda S de la línea sísmica LS -02

Nota. En la figura 30, el perfil de velocidades para el MASW 1D hecho en la línea sísmica LS-02, presenta velocidades propias de suelos de consistencia medianamente compacta y/o densa ganando rigidez en profundidad. El perfil se clasifica como tipo S2 “suelos intermedios” de acuerdo a la norma E030. **Ver anexo N° 06.**



**Figura N° 31** Velocidad de onda S de la línea sísmica LS -03

Nota. En la figura 31, el perfil de velocidades para el MASW 1D hecho en la línea sísmica LS-03 presenta velocidades propias de suelos de consistencia medianamente compactas y/o densas ganando rigidez en profundidad. El perfil se clasifica como tipo S2 “suelos intermedios” de acuerdo a la norma E030. **Ver anexo N° 06.**

**Tabla 5.**

*Parámetros de las líneas MASW2D (LS-01) y MASW1D (LS-02 y LS-03)*

LÍNEA	Vs30 m/s	TIPO DE PERFIL (Ref. E030)	Factor de zona (Z)	Factor de suelo (S)	Tp(s)	TL(s)
LS-01	444.4	S2	0.25	1.20	0.60	2.00
LS-02	306.2	S2	0.25	1.20	0.60	2.00
LS-03	300.0	S2	0.25	1.20	0.60	2.00

Nota. Se presenta los parámetros en 2D donde indica que el perfil y se clasifica como tipo S2 son suelos intermedios

### c) Resultados de la tomografía eléctrica

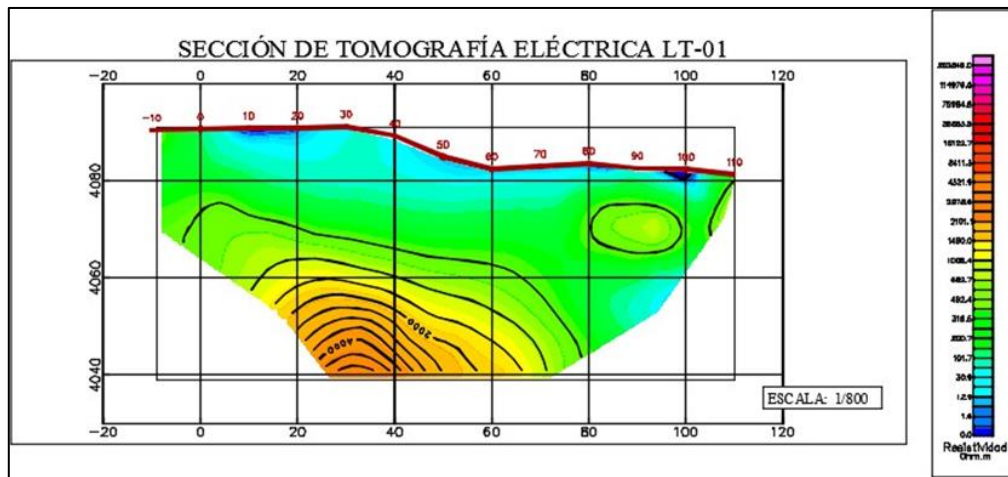
Para el método de tomografía eléctrica, la presentación de los datos y los resultados se hace a través de 02 líneas de tomografías **eléctricas** con intervalos de 10m.

**Tabla 6.**

*Ubicación de líneas tomográficas de la tomografía eléctrica*

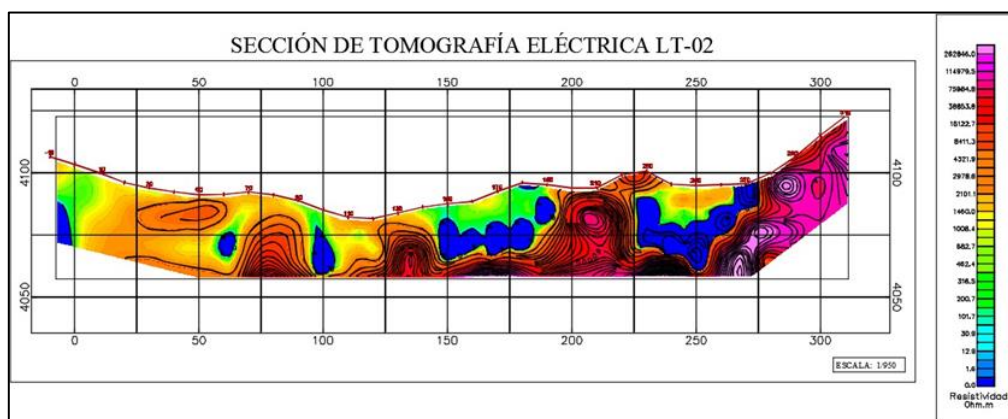
LÍNEA TOMOGRÁFICA	ORIENTACIÓN	ESTE	NORTE	ESTACIÓN
LT-01	INICIO	791229.478	8413447.327	-10
	FIN	791324.596	8413490.190	110
LT-02	INICIO	791313.703	8413308.566	-10
	FIN	791227.369	8413605.377	310

**Perfiles bidimensionales:** Gracias a esta visión bidimensional de alta resolución, este método eléctrico nos permitió detectar zonas susceptibles a filtración, así como caracterizar la estimación de la profundidad



**Figura N° 32** Sección de tomografía eléctrica LT-01.

Nota. En la figura 32, en la sección de Tomografía de la línea LT-01, se muestran resistividades variables, en la sección por la barra de colores al lado de la sección. En función de la barra se puede inferir que superficialmente los estratos se tratarían de materiales semipermeables con pequeñas zonas con coloraciones azules asociadas a la presencia de materiales más húmedos. En profundidades medias se aprecia un incremento de las resistividades por lo que se trata de la presencia de materiales más impermeables. **Ver anexo N° 07**



**Figura N° 33** Sección de tomografía eléctrica LT-02

Nota. En la figura 33, la sección de tomografía eléctrica LT-02, presenta resistividades bastante variables a lo largo de toda la sección. Superficialmente se aprecian resistividades asociadas a materiales de semipermeables a impermeables, por lo que se puede decir que la sección muestra variabilidad de materiales y/o sus propiedades. Las zonas de coloración azul, pueden estar asociadas a zonas con acumulación de humedad y/o la presencia de materiales finos como arcillas, mientras que las coloraciones rojas y rosadas hacen referencia a materiales más impermeables que pueden tener menor alteración que las zonas con coloración verde si fueran materiales rocosos. **Ver anexo N° 07**

### **5.2.2 Perforación diamantina**

Durante la fase de investigación de perforación diamantina para ingeniería geotécnica, se han realizado y obtenido muestras de testigos con diámetro HQ-NQ, corona de diamante y circulación de agua según los estándares de la Diamond Core Drill Manufacturers Association (D.C.D.M.A.) y nos mostraron la presencia de roca. El resultado de la profundidad del contacto con diferentes afloramientos y/o tipos de rocas. También cabe resaltar que las pruebas de permeabilidad se realizaron de manera conjunta a una profundidad promedio de cada 3,00 m.

#### **a) Ubicación de sondajes diamantinos**

Se ejecutó tres (03) sondajes de perforaciones diamantinas, en el eje de la presa proyectada, estas perforaciones cuentan con recuperación de muestras, completando un total de 90.50 metros en profundidad con la necesidad de conocer las condiciones geotécnicas y las características geotécnicas del terreno para construcción de la presa.

**Tabla 7.**

*Coordenadas de la perforación*

<b>Sondaje</b>	<b>Coordenadas WGS 84</b>		<b>Profundidad (m)</b>	<b>Ubicación</b>
N-01	791218.00	8413264.00	31	Estribo izquierdo
N-02	791356.00	8413423.00	29.5	Cause del eje de presa
N-03	791273.00	8413584.00	30	Estribo derecho

Nota: En la Tabla N° 7 se presentan los sondeos realizados en los pozos, clasificados según la geología del área de estudio y las zonas de interés. Posteriormente, se llevó a cabo el registro geotécnico y se realizaron pruebas de permeabilidad utilizando ensayos de Lugeon. También se monitoreó de manera detallada el nivel freático mediante el uso de piezómetros ubicados en el eje de la presa. Para llevar a cabo esta investigación, se implementaron medidas estrictas de seguridad.

**a) Caracterización de los Materiales**

Los suelos adyacentes a la estructura de la presa consisten en suelos de gravas con limo-arenosas, arena-limosa y arena fina a grueso con diámetros menores a 8 pulgadas, con áreas de afloramientos rocosos. El espesor de los suelos es aproximadamente de 21 metros, y más abajo se encuentra material compacto de roca toba. Los estudios preliminares y el mapeo geológico en campo han demostrado la presencia predominante de afloramientos rocosos en las áreas cercanas del eje de la presa. Por lo tanto, fue necesario realizar investigaciones geotécnicas a mayor profundidad mediante perforaciones diamantinas.

Durante la ejecución de las perforaciones diamantinas, se llevó a cabo la caracterización de los materiales de suelo y roca utilizando muestras de testigos

diamantinos. Con esta información, se realizó una investigación y descripción de muestras de material, como suelos y rocas, a diferentes profundidades. Se determinó que el suelo en los lados izquierdo y derecho tiene una capa de 18 m y 21 m respectivamente. Estos materiales se denominan depósitos morrénicos de origen glaciar y están compuestos por gravas limo-arenosas, arena-limosa.

**Tabla 8.**

*Caracterización de los Materiales en los Sondajes*

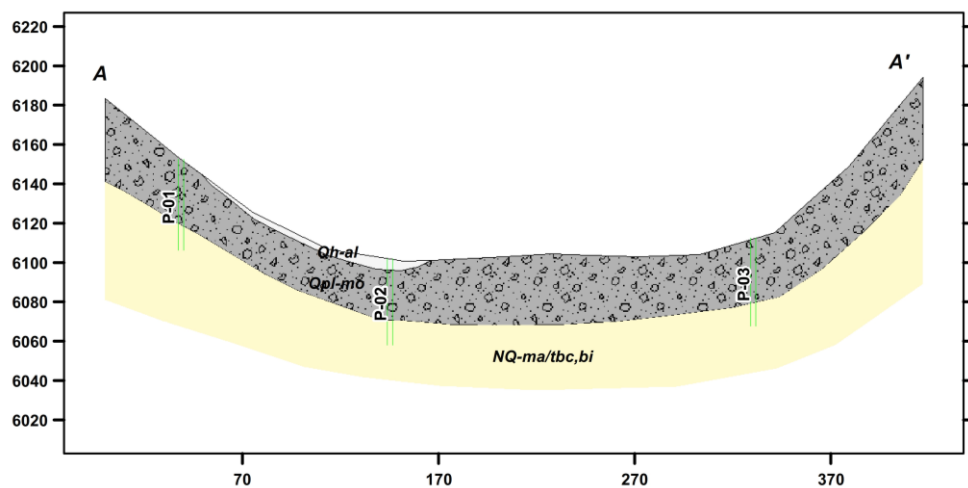
Sondaje	Suelo (m)	Roca (m)	Nivel freático (m)	Ubicación
P-01	00.00-21.00	21.00-31.00	19.40	Izquierdo
P-02	00.00-21.00	21.00-29.50	5.12	Centro
P-03	00.00-18.00	18.00-30.00	10.40	Derecho

Nota: En la Tabla N° 8 el resumen de la caracterización de los sondajes muestra que la perforación diamantina ha revelado la existencia de roca altamente competente con fracturas rellenas de arcillas en los primeros metros de profundidad. A mayor profundidad, se han encontrado discontinuidades menores en la roca, rellenas de mineralización de cuarzo y biotita. Este relleno muestra una silicificación significativa y en algunas áreas no ha experimentado alteración, ya que se ha observado ligero la presencia de óxidos.



**Figura N° 34** Muestra de sondajes diamantinos

Nota: En la Figura N° 34 se pueden observar los testigos diamantinos del P-02 que muestran la interpretación litológica, donde los colores grises claro representan suelos limo-arenosos con gravas y los colores pardos representan rocas tobas.



**Figura N° 35** Perfil litoestratigráfico en el eje de la presa de SE-NW.



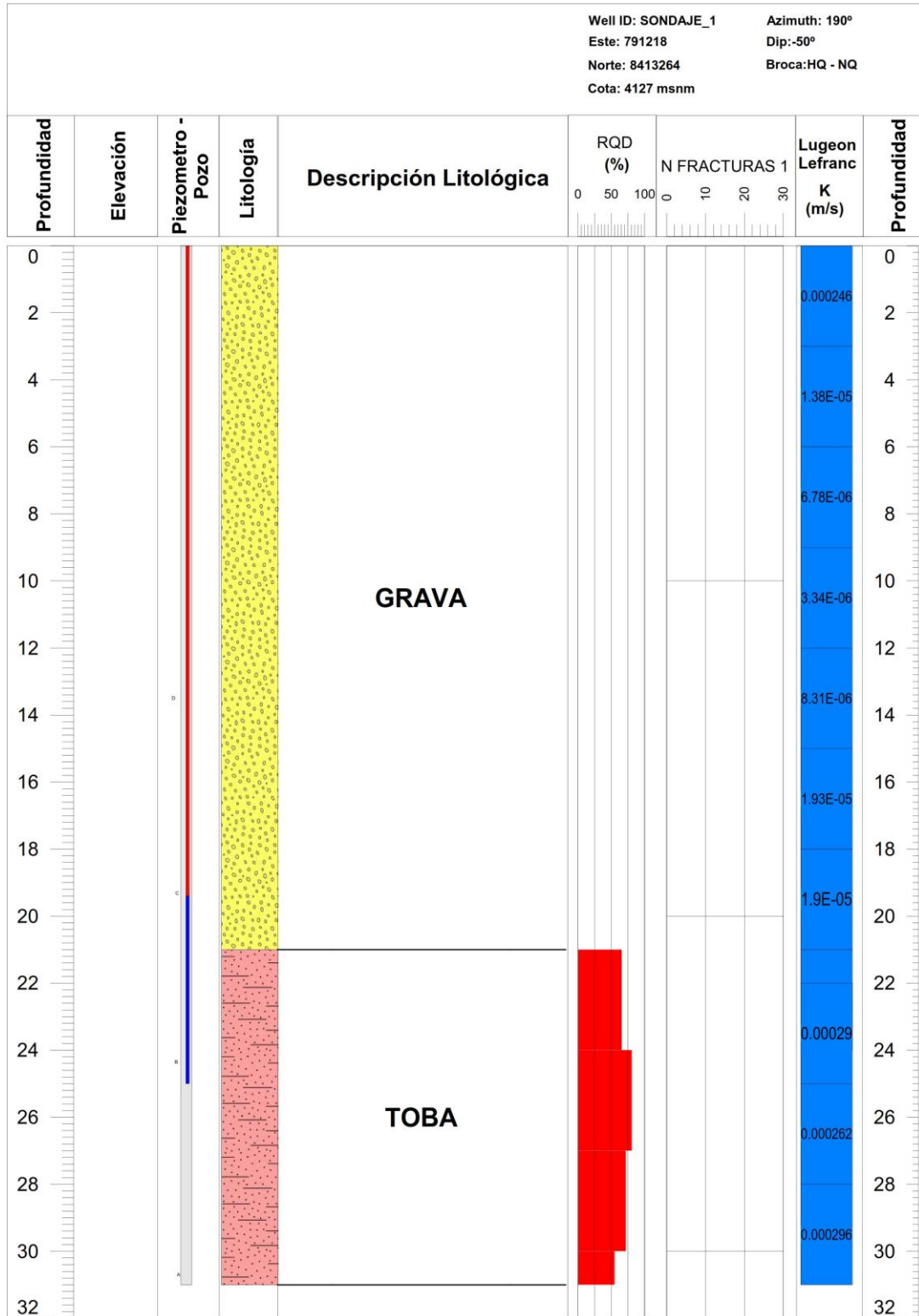


Figura N° 36 Registro de perforación diamantina sondaje P-01.



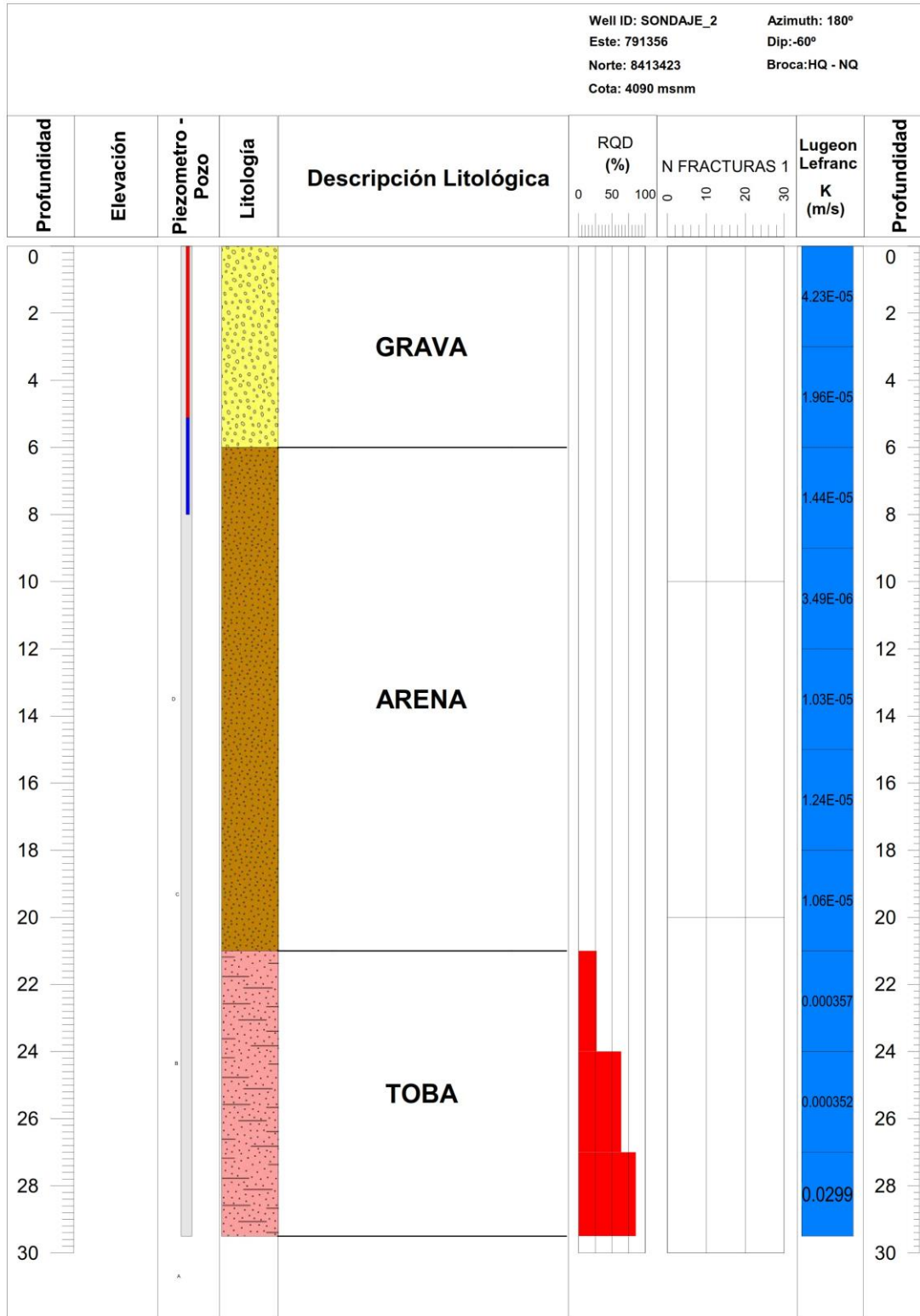


Figura N° 37 Registro de perforación diamantina sondaje P-02.

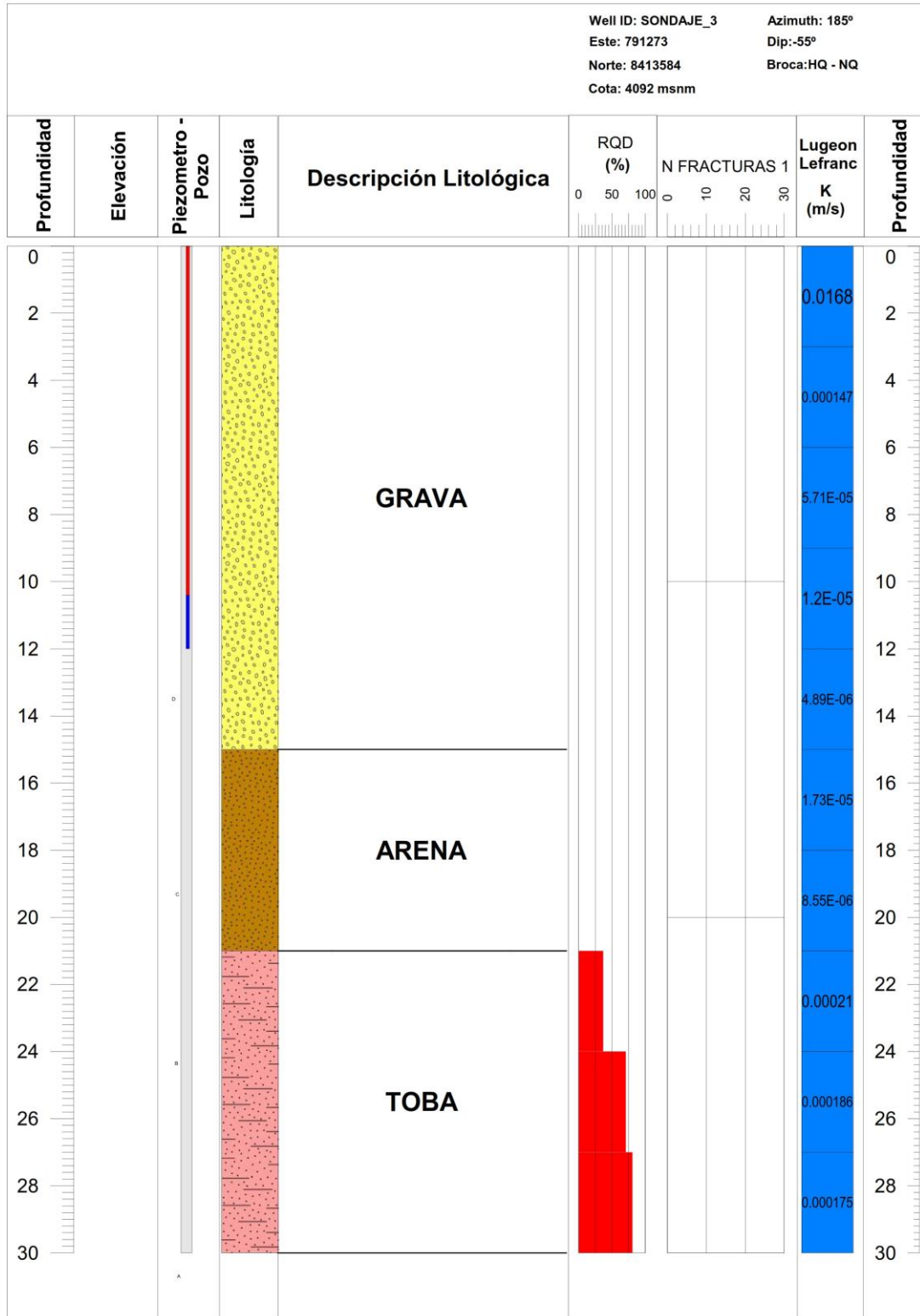


Figura N° 38 Registro de perforación diamantina sondaje P-03.

Nota: La figura 12 presenta la litoestratigráfica de suelo y roca del eje de la presa, destacando los 3 sondajes diamantina. Se puede observar que la mayor cantidad son depósitos morrenicos de mayor espesor.

### b) Ensayos de permeabilidad en el eje de la presa

Las pruebas de permeabilidad Lefranc se realizan aproximadamente cada 3,00 metros, de igual forma para prueba de Lugeon se realiza a cada 3 hasta alcanzar mayores profundidades. Cabe señalar que se realizó con anticipación la evaluación y caracterización geotécnica de los testigos de perforación. Las pruebas de Lefranc se utiliza para determinar la permeabilidad de suelos en profundidad alcanzada.

**Tabla 9.**

*Resumen de los ensayos de permeabilidad mediante prueba Lefranc en los sondeos*

SONDAJE	N° DE ENSAYOS	PROFUNDIDAD (m)	GRADO DE PERMEABILIDAD	TIPO DE ENSAYO
P - 01	1	0.00 - 3.00	2.46E-04 cm/s	LEFRANC
	2	3.00 - 6.00	1.38E-05 cm/s	LEFRANC
	3	6.00 - 9.00	6.78E-06 cm/s	LEFRANC
	4	9.00 - 12.00	3.34E-06 cm/s	LEFRANC
	5	12.00 - 15.00	8.31E-06 cm/s	LEFRANC
	6	15.00 - 18.00	1.93E-05 cm/s	LEFRANC
	7	18.00 - 21.00	1.90E-05 cm/s	LEFRANC
	8	21.00 - 24.00	1.81E-05 cm/s	LEFRANC
P - 02	1	0.00 - 3.00	4.23E-05 cm/s	LEFRANC
	2	3.00 - 6.00	1.96E-05 cm/s	LEFRANC
	3	6.00 - 9.00	1.44E-05 cm/s	LEFRANC
	4	9.00 - 12.00	3.49E-06 cm/s	LEFRANC
	5	12.00 - 15.00	1.03E-05 cm/s	LEFRANC
	6	15.00 - 18.00	1.24E-05 cm/s	LEFRANC
	7	18.00 - 21.00	1.06E-05 cm/s	LEFRANC
P-03	1	0.00 - 3.00	(-)8.68E-04 cm/s	LEFRANC
	2	3.00 - 6.00	1.47E-04 cm/s	LEFRANC
	3	6.00 - 9.00	5.71E-05 cm/s	LEFRANC
	4	9.00 - 12.00	1.20E-05 cm/s	LEFRANC
	5	12.00 - 15.00	4.89E-06 cm/s	LEFRANC
	6	15.00 - 18.00	1.73E-05 cm/s	LEFRANC
	7	18.00 - 21.00	8.55E-06 cm/s	LEFRANC

Nota: En la Tabla 9, nos representa las permeabilidades de cada sondaje según los resultados obtenidos en el terreno o subsuelo si presta condiciones para hacer la construcción de la presa según la permeabilidad obtenido en cada sondaje

En las perforaciones: P-01, P-02 y P-03 se detectó presencia de nivel freático a la profundidad de 19.40m, 5.12m y 10.40m.

La prueba de Lugeon más que todo es para determinar el grado permeabilidad de la roca en profundidad o en interior del sondaje diamantino, esto se realiza a cada 3 metros.

**Tabla 10.**

*Resultados de ensayos de permeabilidad de la prueba de Lugeon de los sondajes*

SONDAJE	N° DE ENSAYO	PRUFUNDIDAD (m)	GRADO DE		TIPO DE PRUEBA
			PERMEABILIDAD (cm/s)	UNIDAD DE LUGEON	
P - 01	1	22 - 25	2.90E-04	7.82	Lugeon
	2	25 - 28	2.62E-04	7.06	Lugeon
	3	28 - 31	2.96E-04	7.99	Lugeon
P - 02	1	21 -24	3.57E-04	9.63	Lugeon
	2	24 -27	3.52E-04	9.49	Lugeon
	3	27 -29.50	2.99E-04	8.06	Lugeon
P -03	1	21 -24	2.10E-04	5.66	Lugeon
	2	24 -27	1.86E-04	5.01	Lugeon
	3	23 -24	1.75E-04	4.73	Lugeon

Nota: En la tabla 10, en los resultados de permeabilidad mediante Lugeon presenta un flujo de relleno y flujo erosión mayormente.

### **5.2.3 Características geotécnicas del eje y vaso de la presa**

De las muestras extraídas se llevaron a cabo ensayos y se determinó las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, según las normas ASTM International. Para conocer contenido de humedad, elasticidad, límite de consistencia y entre otros.

**Tabla 11.***Calicatas realizadas en eje y vaso de la presa*

ITEM	calicata	ESTE	NORTE	ESTRUCTURA
1	C-01	791247	8413578	EJE DE PRESA
2	C-02	791270	8413535	EJE DE PRESA
3	C-03	791279	8413492	EJE DE PRESA
4	C-04	791288	8413460	EJE DE PRESA
5	C-05	791301	8413386	EJE DE PRESA
6	C-06	791321	8413328	EJE DE PRESA
7	C-07	791181	8413413	VASO DE PRESA
8	C-08	790988	8413351	VASO DE PRESA
9	C-09	791336	8413457	AGUAS ABAJO DE LA PRESA

Para hacer cálculo de capacidad admisible o portante se eligieron muestras representativas de suelos, correspondientes a aquellos con resultados de ensayos obtenidos mediante la fórmula de Terzaghi y modificada por Vesic 1975, para suelos gravosos y arenosos clasificados como SP y SP-SM, no plásticos sin cohesión o cohesión mínima, cuyos valores de laboratorio son los siguientes:

En suelos, para cimentaciones que presenten el modo de falla por cortante local. Se empleó la teoría modificada de Terzaghi, con las siguientes modificaciones: considerando una cimentación rectangular.

**Tabla 12.**  
*Factores de capacidad de carga*

$\phi$	Nc	Nq	Ny	$\phi$	Nc	Nq	Ny
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.9	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.96	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.8
25	25.13	25.13	12.72	0	0	0	0

Fuente: Según Kumbhojkar 1993

**a) Perfil estratigráfico de la calicata C-01**

Esta calicata está ubicado al lado derecho de eje presa, comprende de 2 capas bien definidas. **Ver anexo N° 08**

Capa 01 (0,00 – 0,90 m)

Se presenta una capa formada por Top soil, conformado por limo, arcilla de color gris oscuro rico en materia orgánica.

Capa 02 (0,90 – 1,80 m.)

Segunda capa tiene un espesor de un 0.9m contenido de humedad 11.05 % de Arena limosa con grava de color pardo grisáceo, no presenta índice de plasticidad, SP-SM según la clasificación SUSC, el  $\phi$  32°08 y C 0.00 presencia de bolonería de forma esporádica, de tamaño 20x15, las gravas tienen una composición volcánica.

Las características geotécnicas de este flanco son de normales a buenas para la construcción de una presa.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; Índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compacidad / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA			LL %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
				AASHTO	< 0.075 mm	0.075 a 4.750 mm				
0.90		<i>Top soil, conformado por limos, arcillas de color gris oscuro.</i>								S/M
1.80		<i>Arena limosa mal graduada con gravas de color pardo grisáceo, presenta bolonería de forma esporádica, de tamaño 20x15, las gravas tienen composición volcánica.</i>	SP-SM	29%	64%	7%	NP	NP	NP	M-1
2.50		<i>Bloque de rocas volcánicas, en matriz de arena limosa de color pardo oscuro, deposito morrenicos.</i>								S/M

**Figura N° 39** Registro estratigráfico de la calicata C-01



**Figura N° 40** Fotografía de la Calicata C-01

**Tabla 13.**

*Resultados de ensayo de la Calicata C-01*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
Clasificación de SUCS	SP-SM
Densidad humedad inicial	1.49 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	24.2 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.40 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	1.97 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	11.05 %
Angulo de fricción	32.8°
Cohesión	0.00
Permeabilidad promedio	3.48E-05 cm/s

**Ver Anexo N° 09**

**Tabla 14.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-01*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 891.19	Qult = 9.09	Qadm = 3.03

Según los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-01, se logra obtener 9.09 Kg/cm<sup>2</sup> sin factor de seguridad, pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.03 Kg/cm<sup>2</sup>.



### b) Perfil estratigráfico de la Calicata C-02

Consta de dos capas de formaciones definidas y la calicata está ubicado al lado derecho del eje de la presa,

Capa 01 (0,00 – 0,50 m.)

Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro rico en materia orgánica.

Capa 02 (0,50 – a más m.)

Conformado por limos y arcillas de color gris oscuro de poca cantidad de gravas, el material es compacto y densa entre los bloques, contenido de humedad de 9.87 % no presenta plasticidad, SP-SM según clasificación de SUCS su Angulo de fricción y cohesión es igual a la calicata 01.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compacidad / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA			L.L. %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
				AASHTO	< 0.075 mm	0.075 a 4.750 mm				
0.50		Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro.								S/M
1.00		conformado por arenas limosas mal graduadas de color pardo oscuro, con presencia de Afloramientos de bloques de roca volcánica, los bloques fueron transportados por el glaciar "depósitos de morrenicos".	SP-SM	30%	63%	7%	NP	NP	NP	M-1
1.50										

Figura N° 41 Registro estratigráfico de la calicata C-02



**Figura N° 42** Fotografía Calicata C-02

**Tabla 15.**

*Resultados de ensayo de la Calicata C-02*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
Clasificación de SUCS	SP-SM
Densidad humedad inicial	1.85 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	11.05 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.41 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.05 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	9.87 %
Angulo de fricción	32.8°
Cohesión	0.00

**Ver Anexo N° 09**

**Tabla 16.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-02*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 898.51	Qult = 9.16	Qadm = 3.05

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-02, se logra obtener 9.16 Kg/cm<sup>2</sup> sin factor de seguridad, pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.05 Kg/cm<sup>2</sup>.

**c) Perfil estratigráfico de la Calicata C-03**

Consta de dos capas de formaciones definidas y la calicata está ubicado en el valle del eje de la presa,

Capa 01 (0,00 – 0,50 m.)

Top soil, conformado por limos, arcillas y arena rico en materia orgánica de color gris oscura.

Capa 02 (0,50 – 1.00 m.)

Conformado por limos y arcillas de color pardo de poca cantidad de gravas, el material es compacto y densa, entre los bloques de rocas, contenido de humedad de 9.87 % no presenta plasticidad, SP-SM según clasificación de SUCS su Angulo de fricción y cohesión es igual a la calicata 01. los bloques fueron transportados por el glaciar formando depósitos morrénicos.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compacidad / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA			L.L. %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
				AASHTO	< 0.075 mm	0.075 a 4.750 mm				
0.50		<i>Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro.</i>								S/M
1.00		<i>conformado por arenas limosas mal graduadas de color pardo oscuro a profundidad presenta Afloramiento de bloques de roca volcánica, los bloques fueron transportados por el glaciar "depósitos de morrenicos"</i>	SP-SM	20%	63%	8%	NP	NP	NP	M-1
1.50										

**Figura N° 43** Registro estratigráfico de la calicata C-03 de la presa



**Figura N° 44** fotografía Calicata C-03 de la presa

**Tabla 17.**

*Resultados de ensayo de la Calicata C-03*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
Clasificación de SUCS	SP-SM
Densidad humedad inicial	1.85 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	11.05 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.41 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.05 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	9.87 %
Angulo de fricción	32.8°
Cohesión	0.00

**Ver Anexo N° 09**

**Tabla 18.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-03*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 901.77	Qult = 9.20	Qadm = 3.07

**Fuente:** Elaboración Propia

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-03, se logra obtener 9.20 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.07 Kg/cm<sup>2</sup>.

**d) Perfil estratigráfico de la Calicata C-04**

Esta calicata se localiza en el valle del eje de la presa, comprende de 2 capas bien definidos.

Capa 01 (0,00 – 0,50 m)

Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro rico en materia orgánica, por zonas están aflorando los bloques de depósitos morrénicos.

Capa 02 (0,50 – 1,00 m.)

Segunda capa tiene un espesor de un 0.50 m el suelo es compacto entre los bloques de origen glaciario, el contenido de humedad 10.58 % de arena limosa con gravas de color pardo grisáceo, presenta gravas de forma esporádica no presenta índice de plasticidad, la matriz resulta SW-SM según la clasificación SUSC, el  $\phi$  32.3° y C 0.00, presencia de bolonería de forma esporádica con bloques, de tamaño 20 x15 cm, las gravas tienen una composición volcánica.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA			L.L. %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
				<	0.075	4.750				
				mm	mm	mm				
0.50		Top soil, conformado por limos, arcillas de color gris oscuro.							S/M	
1.00		Conformado por arenas limosas bien graduadas con presencia de Afloramiento de bloques de roca volcánica, presenta gravas de forma esporádica, el suelo se encuentra compacto.	SW-SM	12%	77%	11%	NP	NP	NP	M-1
1.50										

**Figura N° 45** Registro estratigráfico de la calicata C-04 de la presa





**Figura N° 46** Fotografía de Calicata C-04

**Tabla 19.**

*Resultados de ensayo de la Calicata C-04*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
Clasificación de SUCS	SW-SM
Densidad humedad inicial	1.63 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	5.8 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.33 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.018 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	10.58 %
Angulo de fricción	33.3°
Cohesión	0.00
Esfuerzo de corte Max	0.66 g/cm <sup>2</sup>
Permeabilidad promedio	2.06E-05 cm/s

**Ver Anexo N° 09**

**Tabla 20.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-04*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 831.77	Qult = 8.48	Qadm = 2.83



De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-04, se logra obtener 8.48 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 2.83 Kg/cm<sup>2</sup>.

**e) Perfil estratigráfico de la Calicata C-05**

Esta calicata se localiza en el valle del eje de la presa, comprende de 2 capas bien definidos.

Capa 01 (0,00 – 0,90 m)

Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro rico en materia orgánica con raíces de las plantas nativas de la zona.

Capa 02 (0,90 – 2,50 m.)

El estrato presenta un espesor de 1.60 m y el suelo es compacto, contenido de humedad 9.42 % de arena gravosa de color gris claro, no presenta plasticidad, SW-SM según la clasificación SUSC, el  $\phi$  33.3° y C 0.00, presencia de bolonería de forma esporádica, de tamaño 20x15, las gravas tienen una composición volcánica.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactad / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS		GRANULOMETRÍA			L.L. %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
			AASHTO	<	0.075	4.750					
				mm	mm	mm	mm				
0.50		Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro.									S/M
1.00		Arena limosa bien graduadas de color gris claro, presenta boloneria de forma esporadica de tamaño 15x20 cm aprox.	SW-SM	13%	77%	10%	NP	NP	NP		M-1
1.50											
2.00											
2.50											

Figura N° 47 Registro estratigráfico de la calicata C-05 de la presa



Figura N° 48 Fotografía Calicata C-05 de la presa

Tabla 21.

Resultados de ensayo de la Calicata C-05

Ensayo	Resultados
Clasificación de SUCS	SW-SM
Densidad humedad inicial	1.73 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	10.59 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.33 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.08 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	9.41 %
Angulo de fricción	33.3°
Cohesion	0.00
Esfuerzo de corte Max	0.66 g/cm <sup>2</sup>

Ver Anexo N° 09



**Tabla 22.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-05*

<b>Kn/m2</b>	<b>Kg/cm2 (0)</b>	<b>Kg/cm2 (3)</b>
Qult = 708.38	Qult = 7.22	Qadm = 2.41

**Fuente:** Elaboración Propia

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-05, se logra obtener 7.22 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 2.41 Kg/cm<sup>2</sup>.

**f) Perfil estratigráfico de la Calicata C-06**

Esta calicata se localiza en el lado izquierdo del eje de la presa, comprende de 2 capas bien definidos.

Capa 01 (0,00 – 1,00 m)

El presente estrato presenta Top soil, por limos y arcillas de color gris oscuro con bloque esporádicos has de 60 cm, producto del deposito coluvial.

Capa 02 (1,00 – 2,10 m.)

Esta capa tiene un espesor de 1.10 m el suelo es compacto el contenido de humedad 10.58 % de arena gravosa de color pardo oscuro no presenta plasticidad, SP según la clasificación SUSC, el  $\phi$  33.6° y C 0.00, presencia de boloneria de forma esporádica.

PROF. (m)	G R A F I C A D O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS		GRANULOMETRÍA				L.L. %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA	
			AASHTO	< mm	0.075	4.750	L.L. %	L.P. %					H.N. %
					mm	mm							
0.50		Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro, presenta bloques de tamaño prom. 60 cm										S/M	
1.50		material arena mal graduada de color pardo oscuro con bloques subangulosos, presenta bolonería de forma esporádica.	SP	26%	71%	3%	NP	NP	NP			M-1	
2.50		Bloques de depósitos morrenicos de roca volcánica con una matriz de arena y limos con gravas.										S/M	

Figura N° 49 Registro estratigráfico de la calicata C-06 de la presa



Figura N° 50 Fotografía de Calicata C-06

Tabla 23.

Resultados de ensayo de la Calicata C-06

Ensayo	Resultados
Clasificación de SUCS	SP
Densidad humedad inicial	1.68 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	12.40 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.35 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.017 g/cm <sup>3</sup>
Óptimo contenido humedad	10.58 %
Angulo de fricción	33.6°
Cohesión	0.00
Permeabilidad promedio	2.12E-05 cm/s

Ver Anexo N°09

**Tabla 24.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-06*

<b>Kn/m2</b>	<b>Kg/cm2 (0)</b>	<b>Kg/cm2 (3)</b>
Qult = 1056.88	Qult = 10.77	Qadm = 3.59

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-05, se logra obtener 10.77 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.59 Kg/cm<sup>2</sup>.

**g) Perfil estratigráfico de la Calicata C-07**

Esta calicata se ubica en el vaso de la presa, comprende de 2 capas bien definidos.

Capa 01 (0,00 – 0,30 m)

El primer estrato presenta un nivel de Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris rico en materia orgánica con raíces de las plantas nativas de la zona.

Capa 02 (0,30 – 1,20 m.)

Hasta 0.90 m el suelo es compacto el contenido de humedad 15.00 % de Arena limosa con arcillas de color pardo oscuro no presenta plasticidad, SM según la clasificación SUSC, el  $\phi$  33.5° y C 0.00, en esta calicata presenta el nivel freático a los 0,70 m de profundidad.

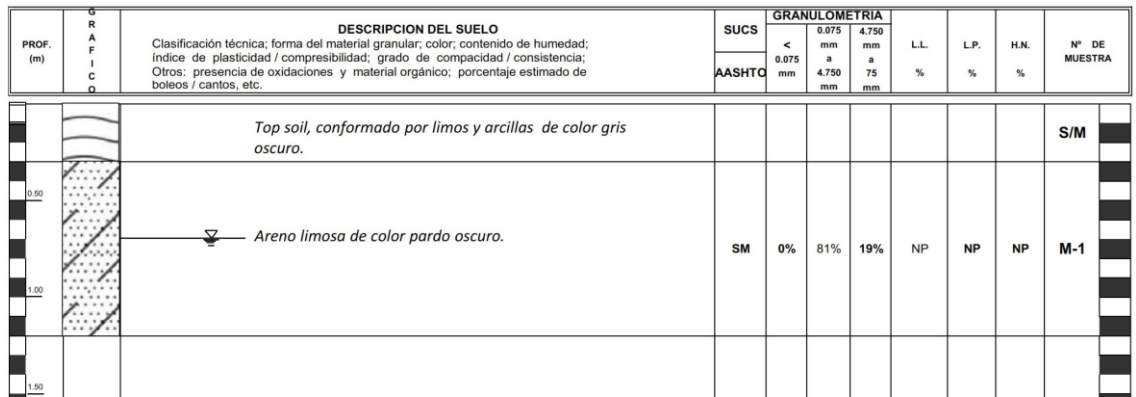


Figura N° 51 Registro estratigráfico de la calicata C-07 de vaso de presa



Figura N° 52 Fotografía de Calicata C-07

Tabla 25.

Resultados de ensayo de la Calicata C-07

Ensayo	Resultados
Clasificación de SUCS	SM
Densidad humedad inicial	1.73 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	24 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.35 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	1.76 g/cm <sup>3</sup>
Óptimo contenido humedad	15 %
Angulo de fricción	33.5°
Cohesión	0.00
Esfuerzo de corte Max	0.66 g/cm <sup>2</sup>

Ver Anexo N°09

**Tabla 26.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-07*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 938.32	Qult = 9.57	Qadm = 3.19

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-07, se logra obtener 10.77 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.59 Kg/cm<sup>2</sup>.

**h) Perfil estratigráfico de la Calicata C-08**

Esta calicata se encuentra en el vaso de la presa, comprende de 3 capas bien definidos.

**Capa 01 (0,00 – 0,30 m)**

El primer estrato presenta un nivel de Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris rico en materia orgánica con raíces de las plantas nativas de la zona.

**Capa 02 (0,30 – 1,20 m.)**

Presenta un suelo compacto hasta 1.20 m, el contenido de humedad 10.58 %, de Gravas areno limosas de color pardo amarillento, gravas subredondeados no presenta índice de plasticidad, SP según la clasificación SUSC, el  $\phi$  33.7° y C 0.00. presenta boloneria de forma esporádica, presenta nivel freático a los 1.10m. de profundidad.

**Capa 03 (1,20 – 1,60 m.)**

Conformada por arena fina de coloración pardo grisáceo, muestra bien saturado por estar por debajo del nivel friatico.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; Índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compacidad / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	GRANULOMETRÍA						N° DE MUESTRA			
			SUCS	0.075		4.750		L.L.		L.P.	H.N.	
			AASHTO	<	a	a	75	%		%	%	
0.50		Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris oscuro.										S/M
1.00		Gravas arena limosas de color pardo amarillento, gravas subredondeadas, presenta bolonería de forma esporádica.										S/M
1.50		Conformada por arena mal graduada de coloración pardo grisáceo.	SP	27%	70%	3%	NP	NP	NP			M-1
2.00												

Figura N° 53 Registro estratigráfico de la calicata C-08

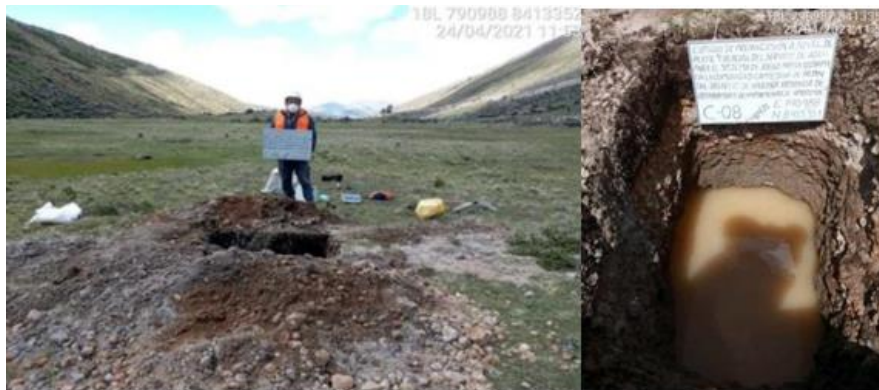


Figura N° 54 Fotografía de Calicata C-08

**Tabla 27.**

*Resultados de ensayo de la Calicata C-08*

Ensayo	Resultados
Clasificación de SUCS	SP
Densidad humedad inicial	1.68 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	12.40 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.34 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.017 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	10.58 %
Angulo de fricción	33.7°
Cohesión	0.00
Esfuerzo de corte Max	0.66 g/cm <sup>2</sup>

**Ver anexo N° 09**

**Tabla 28.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-08*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 1016.06	Qult = 10.36	Qadm = 3.45

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-08, se logra obtener 10.36 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.45 Kg/cm<sup>2</sup>.

**i) Perfil estratigráfico de la Calicata C-09**

Esta calicata se encuentra aguas debajo de la presa, comprende de 3 capas bien definidos.

Capa 01 (0,00 – 0,60 m)

El primer estrato presenta un nivel de Top soil, conformado por limos y arcillas de color gris rico en materia orgánica con raíces de las plantas nativas de la zona.

Capa 02 (0,60 – 1,60 m.)

Conformada Arena limosa de color amarillento presenta gravas de forma esporádica, el suelo se encuentra compacta.

Capa 03 (1,60 – 2,50 m.)

M-1 Presenta un suelo es compacto hasta 2.10 m el contenido de humedad 10.59 % de Gravas areno limosas de color pardo amarillento, gravas subredondeados, no presenta índice de plasticidad, SP según la clasificación



SUSC, el  $\emptyset$  33.5° y C 0.00. presenta boloneria de forma esporádica, a partir de 2.10 m presenta el nivel freático.


PROF. (m)	S R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; Índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA			L.L. %	L.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
				< 0.075 mm	0.075 a 4.750 mm	4.750 a 75 mm				
0.50		Top soil, conformado por limos, arcillas de color gris oscuro.								S/M
1.00		Arena limosa con gravas de color pardo amarillento, presenta gravas de forma esporadica, el suelo se encuentra compacto.								S/M
2.00		 Arena mal graduada presenta gravosas de forma esporadica de color gris claro.	SP	25%	72%	3%	NP	NP	NP	M-1
2.50										

Figura N° 55 Registro estratigráfico de la calicata C-09



Figura N° 56 Fotografía de Calicata C-09



**Tabla 29.**

*Resultados de ensayo de la Calicata C-09*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
Clasificación de SUCS	SP
Densidad humedad inicial	1.68 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	12.40 %
Limite liquido	NP
Limite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
Peso específico	2.34 g/cm <sup>3</sup>
Máxima densidad seca	2.019 g/cm <sup>3</sup>
Optimo contenido humedad	10.59 %
Angulo de fricción	33.7°
Cohesión	0.00
Esfuerzo de corte Max	0.66 g/cm <sup>2</sup>

**Ver Anexo N° 09**

**Tabla 30.**

*Cálculo de la capacidad admisible C-09*

<b>Kn/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (0)</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup> (3)</b>
Qult = 1046.37	Qult = 10.67	Qadm = 3.56

De acuerdo a los cálculos de la capacidad de carga de la calicata C-08, se logra obtener 10.67 Kg/cm<sup>2</sup> factor de seguridad (0), pero aplicando factor de seguridad (3) se obtiene 3.56 Kg/cm<sup>2</sup>.

Son depósitos aluviales, terreno de limo arcillosa con arena de color marrón claro a gris, conformado por una matriz de arena mal graduada con grava que se clasifica en el sistema unificado de suelos SUCS como un SP-SM, SM que corresponde a una arena pobremente graduada y arena limosa.

**Tabla 31.**

*Resumen general de los resultados de ensayos de clasificación de suelos de las calicatas*

Código	Muestra	Profundidad	Clasificación	Consistencia			Potencial de expansión	Densidad Máxima Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Óptimo % de Humedad	Cohesión Kg/cm <sup>2</sup>	Angulo de fricción interna
				LL	LP	IP					
C-01	M1	1.80	SP-SM	NP	NP	NP	Bajo	1.972	11.05	0	32.8
C-02	M1	0.50	SP-SM	NP	NP	NP	Bajo	1.972	11.05	0	32.8
C-03	M1	0.50	SP-SM	NP	NP	NP	Bajo	1.974	11.03	0	32.8
C-04	M1	1.00	SW-SM	NP	NP	NP	Bajo	2.018	10.58	0	33.3
C-05	M1	2.50	SW-SM	NP	NP	NP	Bajo	2.019	10.59	0	33.3
C-06	M1	2.10	SP	NP	NP	NP	Bajo	2.017	10.58	0	33.6
C-07	M1	1.20	SM	NP	NP	NP	Bajo	1.758	15	0	33.5
C-08	M1	1.60	SP	NP	NP	NP	Bajo	2.017	10.58	0	33.7
C-09	M1	2.50	SP	NP	NP	NP	Bajo	2.019	10.59	0	33.5

**Tabla 32.**

*Valores para el cálculo de la capacidad admisible del terreno*

VALORES PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE DEL TERRENO													
ESTRUCTUR A	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Phi$ (°)	B (m)	Df (m)	PESO ESPECI FICO KN/cm <sup>3</sup>	Nc	Nq	N $\square$	Cc	C $\gamma$	COHES ION (kPa)	qu (Kn/m <sup>2</sup> )	qad (kg/cm <sup>2</sup> )
C-01	0	32.8	1	1	19.12	48.09	32.23	31.94	1.12	0.9	0.0	891.19	3.03
C-02	0	32.8	1	1	19.28	48.09	32.23	31.94	1.12	0.9	0.0	898.51	3.05
C-03	0	32.8	1	1	19.35	48.09	32.23	31.94	1.12	0.9	0.0	901.77	3.07
C-04	0	33.3	1	1	17.85	48.09	32.23	31.94	1.12	0.9	0.0	831.77	2.83
C-05	0	33.3	1	1	15.20	48.09	32.23	31.94	1.12	0.9	0.0	708.38	2.41
C-06	0	33.6	1	1	19.71	52.64	36.5	38.04	1.12	0.9	0.0	1056.88	3.59
C-07	0	33.5	1	1	17.50	52.64	36.5	38.04	1.12	0.9	0.0	938.32	3.19
C-08	0	33.7	1	1	18.95	52.64	36.5	38.04	1.12	0.9	0.0	1016.06	3.45
C-09	0	33.5	1	1	19.52	52.64	36.5	38.04	1.12	0.9	0.0	1046.37	3.56



### 5.3 DISCUSION

Los suelos de la zona de estudio no presentan índices de plasticidad características de expansión, por ello no son suelos expansivos. En la zona evaluada no se dan las condiciones para la licuación de suelos. Las condiciones para que exista riesgo de licuación de suelo son: existencia de arcillas con gravas, siendo de compacidad suelta en estado saturado.

Con respecto a los valores de resistividad observados, se ha dividido en tres escalas de valores para su interpretación y mejor correlación entre zonas de similar resistividad, el primero varía entre 0.5 a 20 Ohm.m se asocia a la presencia de materiales húmedos o poco permeables, la zona 2 con resistividades de entre 20 Ohm.m a 1500 Ohm.m en las cuales se encuentra materiales medianamente permeables a materiales con alta permeabilidad y la zona 3 con resistividades por encima de los 1500Ohm.m donde se pueden encontrar zonas con materiales impermeables asociados a la presencia de roca no alterada.

En el caso de las zonas de erosión, las velocidades de onda P y S presentan velocidades asociadas suelos medianamente compactos y/o densos en superficie y compactos y/o rígidos en profundidad, pudiendo tener suelos y rocas resistentes en profundidad. Sin embargo, superficialmente en casi todos los casos la saturación de los materiales podría jugar un papel importante en su comportamiento mecánico pues se observó suelos de formación reciente y/o antrópicos como capas superficiales, sobre todo para la zona media de la sección LS-01.

Queda ambigua la definición de la matriz rocosa pues las velocidades de Onda P y S no son tan elevadas, sin embargo, han existido casos en los que, para rocas sedimentarias como areniscas, las velocidades para un macizo rocoso en buenas



condiciones son superiores a los 1500m/s en las Ondas P por lo que igualmente los materiales de la capa 04 de la refracción sísmica presentarían un buen comportamiento mecánico.

En base a las velocidades de Onda S, se infiere que no hay suelos blandos y/o sueltos, sin embargo, la saturación de los estratos podría reducir las velocidades de onda S, cambiando su clasificación, por lo que se recomienda que tenga en consideración como principal zona de interés los estratos de coloración azul y celeste mostrados en la sección de MASW2D para la LS-01, pues estos estratos son los que pueden presentar mayores cambios en su resistencia al corte.

Finalmente, con ayuda de los datos de Refracción Sísmica y el MASW2D, se hace un análisis cualitativo correlacionando dicha información. Con el apoyo de información de la Norma Técnica Peruana (NTP-E030-2016) podemos correlacionar los valores de la Onda S, al tipo de consistencia del subsuelo.

Así mismo con la Norma Internacional, ASTM –D5777, podemos asociar los resultados de la Onda P, al tipo de material del subsuelo.

En las secciones procesadas e interpretadas, se tienen zonas delimitadas y numeradas de acuerdo con los valores de velocidad de la Onda P, en algunas secciones se han delimitado en tres capas y en otras en dos, cada sección muestra las diferencias de cada capa en profundidades y espesores, representando las formas que cada una pudiera tomar en profundidad



## VI. CONCLUSIONES

El terreno es geotécnicamente favorable para la cimentación de la presa Ccosama-Haquira, porque no presentan índices de plasticidad características de expansión, por ello no son suelos expansivos.

En el área de estudio se identificó las siguientes unidades geológicas, como el complejo volcánico Malmanya, así como depósitos morrénicos, depósitos cuaternarios, depósitos fluvio-glaciares y depósitos coluviales. La Presa Ccosama está ubicada dentro los depósitos morrenicos, la cual está compuesta por morrena, depósito de origen glaciar (Bloque alóctono fracturado de 2 m aprox., gravas <3" limo-arenosas, subangulosos, color gris claro, ligeramente húmedas), tienes las condiciones para la cimentación de la presa.

Los parámetros geotécnicos de la presa corresponden a una clasificación SUCS arenas y limos con gravas (SM-SP-SW), en el lado derecho de la presa, capacidad portante del terreno es de 9.09 kg/cm<sup>2</sup>. Pero aplicando el factor de seguridad (3) se obtiene  $Q_{ad} = 3.03$  kg/cm<sup>2</sup>. En el valle de la presa la capacidad portante es de 8.48 kg/cm<sup>2</sup>. Pero aplicando el factor de seguridad (3) se obtiene  $Q_{ad} = 2.83$  kg/cm<sup>2</sup>. En el lado izquierdo de la presa presenta una capacidad admisible de 10.77 kg/cm<sup>2</sup>, pero aplicando el factor de seguridad (3) tenemos que  $Q_{ad} = 3.59$  kg/cm<sup>2</sup> un ángulo de fricción promedio de 33°, cohesión 0.00 kg/cm<sup>2</sup>. Las velocidades de propagación de ondas sísmicas LS-01  $V_p$  están de 560,0 m/s a 1890,0 m/s, LS-02 las velocidades de onda  $V_p$  están de 545,0 m/s a 1715,0 m/s y las velocidades ondas  $V_s$  varia 298,0 m/s a 360,0 m/s coeficiente de poisson 0.29 a 0.48  $\mu$ , LS-03 las velocidades de onda  $V_p$  están de 550,0 m/s a 1700,0 m/s y las velocidades ondas  $V_s$  varia 265,0 m/s a 365,0 m/s coeficiente de poisson 0.35 a 0.48, en los sondajes diamantinos P-01, P-02 y P-03 se detectó presencia de nivel freático a la



profundidad de 19.40m, 5.12m y 10.40m. La permeabilidad de los suelos en los sondajes llega  $3.48E-05$  cm/s,  $2.06E-05$  cm/s y  $2.12E-05$  cm/s, según pruebas de lefranc, los resultados geológicos y geotécnicos para los 3 casos, en tal sentido.



## VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda la profundidad de cimentación es de 1.0 medido desde el nivel de la roca alterada a una profundidad de 24 metros del nivel del terreno.

Se recomienda ampliar los estudios geológicos de las áreas próximas a la zona de estudio, para determinar y/o ampliación de represamiento de las lagunas unidas y así poder aumentar la demanda hídrica.

Se recomienda realizar ensayos geofísicos en el vaso de la presa para tener más información geotécnica de la presa.

El sistema de protección de medio ambiente deberá ser una tarea permanente durante todo el periodo de construcción y posterior a la obra.





## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ali Murillo, L. A. (2016). *Métodos de prospección geofísica aplicados a la investigación geotécnica para estudio del recrecimiento de una Presa de Relaves en el Distrito de Oyolo*. Obtenido de Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica-UNSA: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e9d3c455-cbaa-488f-89e3-f06c71276fda>
- ANGELONE, S., & GARIBAY, M. T. (2006). *Geología y geotecnia: permeabilidad de suelos*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- BRAJA, D. M. (2001). *FUNDAMENTOS DE LA INGENIERIA DE GEOTECNIA*. California Estate Sacramento.
- Casgrande, A. (1948). *fragmentos del libro: Clasificación de los suelos. Agua y Agro*. (2015). *Agua Y Agro*.
- Chávez, G. (2011). *Modelamiento 3D de datos de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) con arreglo tipo "L"*. Obtenido de Tesis de Maestría. Instituto de Geofísica UNAM.
- Cosillo, P. (1999). *Consideraciones geológicas – geotécnicas para el diseño de taludes en macizo rocoso*. Obtenido de (TESIS DE INGENIERO CIVIL) – Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Crespo, V. (1990). *Mecánica de suelos y cimentación*. Noriega, Mexico: Limusa.
- Dal-Ré, T. (2003). *Pequeños embalses de uso agrícola* (Primera ed.). España Mundi-Prensa.



- De Lucena, R. F. (2016). *Avaliações e testes dos métodos MASW e REMI por meio do tratamento de dados empíricos e sintéticos em um programa de processamento e inversão desenvolvido em MATLAB e sua aplicação em um problema geológico na Bacia de Taubaté*. Universidade de São Paulo: Tesis doctoral.
- Delgado, V. (1996). *Ingeniería de cimentaciones*. Mexico: Alfa y Omega.
- DESENA.AHEDO, A. (2003). *Estabilidad de taludes en presas de tierra y enrocamiento*. Obtenido de TESIS, INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIDAD ZACATENCO INGENIERIA CIVIL: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4828>
- Fano, M. G. (2018). *ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE UN RESERVORIO DE CABECERA DE 20.000 M3 EN EL SECTOR 330 VILLA MARÍA DEL TRIUNFO - LIMA*. Obtenido de Universidad Nacional San Marcos- ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL .
- Froilan, P. (2014). *Construcción de presa de tierra*. Obtenido de Tesis. EPIG. UNAP. Puno - Peru.
- Gonzáles de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Gonzales, D. V. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Hayashi, K., & Suzuki, H. (Marzo de 2004). *CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data*. Obtenido de Exploration Geophysics.
- Humberto, G., & Luis, G. (2009). *Enfoques de Diseño de Presas de Enrocado con Membrana Impermeable*. Obtenido de Universidad Privada Boliviana.
- ICOLD. (1995). *Presas de Escollera con Pantalla de Hormigón*. Estado del Arte.



- International Association of Mountain Mechanics (ICIMOD). (1984). *An Information centre and network*.
- Juarez, B. (1996). *Mecánica de suelos*. Mexico: Limusa.
- Knödel, K., & Jürgen, H. (2007). *Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies*. Obtenido de Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Marsal, & Reséndiz. (1975). *Presas de Tierra y Enrocamiento*. México.
- Nina, B. M. (2017). *Evaluación geotécnica para la construcción de la presa Huanzo*. Obtenido de UNAP-Institucional: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4731>
- Ramirez, O. R., & Ponce Centeno, D. R. (2020). “*ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA HAYCULLI EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE QUEHUINCHA DEL DISTRITO DE LIVITACA –CHUMBIVILCAS - CUSCO*”. Obtenido de Tesis - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA - UNSAAC CUSCO: [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6706/253T20220226\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6706/253T20220226_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ray, K., & Joseph, B. (1978). *Engenharia de Recursos Hídricos*. (M.-H. d. Brasil, Ed.) Universidade de Sao Paulo.
- Strobbia, C. (2003). *Surface Wave Methods Acquisition, processing and inversion*. Doctoral thesis. Politecnico Di Torino. Italy. Obtenido de Doctoral thesis. Politecnico Di Torino. Italy.
- Vallerino, E. (1998). *Tratado Básico Presas I-II* (4ta ed.).



Vega, L. D. (2017). *EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA TOTORACCOCHA PROVINCIA DE ACOBAMBA, DEPARTAMENTO DE HUANCABELICA*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.



## **ANEXOS**

**ANAEXO N° 01: PLANO DE UBICACIÓN**

**ANAEXO N° 02: PLANO GEOLOGICO LOCAL Y PERFIL GEOLÓGICO**

**ANAEXO N° 03: PLANO GEOMORFOLOGICO LOCAL**

**ANAEXO N° 04: PLANO GEOTÉNICO LOCAL**

**ANAEXO N° 05: SECCIÓN DE REFRACCIÓN SÍSMICA PARA LA LS-01, LS-02 y LS-03**

**ANAEXO N° 06: SECCION MASW 2D PARA LA LS-01**

**ANAEXO N° 07: ANALISIS DE LAS ONDAS S**

**ANAEXO N° 08: SECCION TOMOGRAFIA ELECTRICA LT-01, LT-02**

**ANAEXO N° 09: PERFIL ESTRATIGRAFICO DE PERFORACION  
DIAMANTINA.**

**ANAEXO N° 09: PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELOS DE LAS  
CALICATAS**

**ANAEXO N° 10: ENSAYO DE LABORATORIO DE LAS CALICATAS**



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Wilber Roberts Apaza Polomino  
identificado con DNI 44883900 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA EL DISEÑO DE  
CIMENTACIÓN DE LA PRESA CEBASA, HUAQUIRA - COTABAMBA - APURÍMAC"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 21 de Noviembre del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wilber Roberts Apaza Palomino  
identificado con DNI 44873900 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería geológica  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

“ EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA EL DISEÑO  
DE CIMENTACIÓN DE LA PRESA CLOSOMA, HUACURA-COTABAMBAS-APURIMAC  
” Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 21 de Noviembre del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella