

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LA PRESA EN LA  
MICRO- CUENCA HUAYLLUMAYO – ESPINAR”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. RICHARD RUDY TICONA CANQUI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**TESIS**

**“ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LA PRESA EN LA  
MICRO- CUENCA HUAYLLUMAYO – ESPINAR”**

PRESENTADA POR:

**RICHARD RUDY TICONA CANQUI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE :**

.....  
Ing. LUIS ALBERTO MAYDANA VILCA

**PRIMER MIEMBRO :**

.....  
M. Sc. Ing. ROGER GONZALES ALIAGA

**SEGUNDO MIEMBRO:**

.....  
Ing. MAURICIO PERALTA MOLINA

**DIRECTOR DE TESIS:**

.....  
Dr. HECTOR RAUL MACHACA CONDORI



Área : Geotécnica

Tema: Estudio geotécnico para el diseño de la presa en la Micro-Cuenca  
Huayllumayo– Espinar

Tesis sustentada: 25 de octubre del 2017

## DEDICATORIA

A Dios por iluminarme, guiarme y haberme permitido llegar hasta este punto y brindarme la salud para lograr mis objetivos. Además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Richar Ticona Huarachi y Emilda Canqui Supo por ser mi fuente de vida e inspiración de lucha incalculable, valentía y superación constantes; a mis hermanos Yordy y Yoselin, con amor y gratitud, por motivarme y darme la fortaleza para lograr este objetivo.

A mi familia en general, porque me brindaron su apoyo incondicional, y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

**Richard Rudy Ticona Canqui**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme esta vida, guiarme por el buen camino.

A mí querida madre, mi querido padre y mis queridos hermanos, por el aliento y no perder la fe en mí; aun en momentos difíciles durante mi formación profesional.

A la Municipalidad Provincial De Espinar. Por darme la oportunidad de realizar esta investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, por ser mi alma mater y mentora en mí proceso de desarrollo personal y profesional.

Al Dr. Hector Raul Machaca Condori, por aceptar ser mi guía y tutor en este trabajo de investigación.

Al Ing. Wilber Churacutipa Mamani, por apoyarme en este trabajo de investigación.

Al Ing. Rene Huarachi Huallpa, por apoyarme en este trabajo de investigación.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica UNA-PUNO, por haberme transmitido sus conocimientos, consejos y experiencia para desenvolverme en mi vida profesional.

Finalmente agradezco a todos las personal que influyeron en mí y apoyaron durante esta ardua labor de preparación profesional.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOS</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xviii</b>

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>1.4. HIPÓTESIS</b>	<b>8</b>
1.4.1. Hipótesis General	8
1.4.2. Hipótesis Específicas	8
<b>1.5. OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
1.5.1. Objetivo General	9
1.5.2. Objetivos Específicos	9
<b>1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>9</b>

iii

**CAPÍTULO II****REVISIÓN LITERARIA**

<b>2.1. PRESA DE TIERRA</b>	<b>11</b>
<b>2.2. FACTOR DE SEGURIDAD</b>	<b>12</b>
<b>2.3. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD</b>	<b>13</b>
<b>2.4. PROCESOS DE SATURACIÓN HINCHAMIENTO Y COLAPSO</b>	<b>13</b>
2.4.1. SUELOS EXPANSIVOS	13
2.4.2. SUELOS COLAPSABLES	14
2.4.3. PRESION DE POROS	14
<b>2.5. COMPACTACIONES DE SUELOS</b>	<b>15</b>
2.5.1. COMPACTACIÓN SUPERFICIAL	15
2.5.2. COMPACTACIÓN PROFUNDA	15
<b>2.6. PROCESOS DE COMPACTACIÓN</b>	<b>16</b>
<b>2.7. EMBALSE</b>	<b>16</b>
<b>2.8. VASO</b>	<b>17</b>
2.8.1. PRINCIPALES COMPONENTES DE VASO DE ALMACENAMIENTO	17
<b>2.9. LA CERRADA</b>	<b>18</b>
<b>2.10. TALUDES</b>	<b>18</b>
<b>2.11. BORDO LIBRE</b>	<b>18</b>
<b>2.12. LOS ESTRIBOS</b>	<b>19</b>
<b>2.13. LA CIMENTACIÓN</b>	<b>19</b>
<b>2.14. EL ALIVIADERO</b>	<b>20</b>
<b>2.15. LAS COMPUERTAS</b>	<b>20</b>
<b>2.16. EL DESAGUE DE FONDO</b>	<b>20</b>
<b>2.17. NUCLEO IMPERMEABLE</b>	<b>20</b>
<b>2.18. METODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES</b>	<b>20</b>

2.18.1. METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE	20
2.18.2. METODOS DE DOVELAS O REBANADAS	21
2.18.3. METODO SIMPLIFICADO DE BISHOP	21
2.18.4. METODOS PRECISOS Y COMPLETOS	22
2.18.5. METODOS DE MORGENSTEM — PRICE	22
<b>2.19. METODOS SÍSMICOS</b>	<b>22</b>
<b>2.20. METODOS ELÉCTRICOS</b>	<b>22</b>
<b>2.21. CURVA GRANULOMÉTRICA</b>	<b>23</b>
<b>2.22. CLASIFICACION GEOMECANICA DE ROCA</b>	<b>23</b>
2.22.1. CLASIFICACION GEOMECANICA	23
2.22.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENAWSKY	24
<b>2.23. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD</b>	<b>29</b>
2.23.1. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LE-FRANC	30
2.23.2. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN	31

## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y MATERIALES

<b>3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>32</b>
3.1.1. ETAPA DE GABINETE I	32
3.1.2. ETAPA DE CAMPO I	33
3.1.3. ETAPA DE CAMPO II	33
3.1.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MECÁNICA	41
3.1.5. ETAPA DE GABINETE II	42
<b>3.2. INSTRUMENTOS Y MATERIALES</b>	<b>42</b>
3.2.1. ETAPA DE GABINETE I	42
3.2.2. ETAPA DE CAMPO I	43
3.2.3. ETAPA DE CAMPO II	43
3.2.4. ETAPA DE GABINETE II	44

**CAPÍTULO IV****RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>4.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>46</b>
4.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	46
4.1.2. VÍAS DE ACCESO	48
4.1.3. CLIMA	48
4.1.4. HIDROLOGÍA	49
4.1.5. GEOMORFOLOGÍA	61
4.1.6. CARACTERÍSTICAS	63
<b>4.2. PARÁMETROS GEOTECNICOS DE LA PRESA</b>	<b>78</b>
4.2.1. GEOTECNIA DE LA ZONA DE ESTUDIO	79
4.2.2. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL EJE DE PRESA	92
4.2.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL VASO	103
4.2.4. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	108
4.2.5. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	110
4.2.6. CAPACIDAD DE CARGA: CIMENTACIÓN PRESA HUAYLLUMAYO	111
4.2.7. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR SIFONAMIENTO	114
4.2.8. GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD Y PROBABILIDAD DE RIESGO	120
4.2.9. EVALUACIÓN DE SALES EN EL SUELO DE CIMENTACIÓN	122
4.2.10. CANTERAS	123
4.2.11. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA Y DISEÑO DE TALUDES	125
4.2.12. DISEÑO DE LA PRESA	128

**CAPÍTULO V**

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>149</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>151</b>

**CAPÍTULO VI**

<b>REFERENCIAS</b>	<b>152</b>
--------------------	------------

**ANEXOS****158****ANEXO I : PLANOS Y PERFILES**

- A. Plano De Ubicación
- B. Plano Hidrológico
- C. Plano Geologico Local
- D. Plano Estratigráfico
- E. Plano Ubicacion De Cantera
- F. Plano Eje De La Presa (Planta)
- G. Plano Eje Dela Presa (Perfil)

**ANEXO II: Evaluación geotécnica – Calicatas****ANEXO III: Ensayos de Laboratorio**

- A. Contenido de Humedad
- B. Ensayos de Corte Directo
- C. Análisis Granulométrico por Tamizado
- D. Ensayos Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

**ANEXO IV: Hoja de cálculo de permeabilidad****ANEXO V: Hoja de cálculo geomecánico de suelos**

- A. Ficha de Mapeo de Celdas
- B. Ficha de Mapeo de Celdas

**ANEXO VI: Capacidad portante****ANEXO VII: Analisis de estabilidad****ANEXO VIII: Panel fotográfico**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación del macizo rocoso en función del R.Q.D.	25
<b>Tabla 2:</b> Clasificación de las rocas	26
<b>Tabla 3:</b> General de clasificación geomecánica de Bieniawski	28
<b>Tabla 4:</b> Calidad de macizo rocoso con relación al índice RMR propuesta por Bieniawski	29
<b>Tabla 5:</b> Valores relativos de permeabilidad.	30
<b>Tabla 6:</b> Ubicación Líneas de Refracción Sísmica	37
<b>Tabla 7:</b> Ubicación Líneas sísmicas MASW	39
<b>Tabla 8:</b> Resumen de las Calicatas Realizadas	40
<b>Tabla 9:</b> Ubicación del Proyecto	48
<b>Tabla 10:</b> Vías de acceso al Proyecto	48
<b>Tabla 11:</b> Distribución media mensual de la precipitación del Río Huayllumayo en el eje de la Presa, Estación Yauri	51
<b>Tabla 12:</b> Parámetros de Forma de la Presa Huayllumayo	53
<b>Tabla 13:</b> Caudal para diferentes períodos de retorno	54
<b>Tabla 14:</b> Cálculo de la Pendiente	55
<b>Tabla 15:</b> Pendiente del río	57
<b>Tabla 16:</b> Variables Climáticas	58
<b>Tabla 17:</b> Caudales medios mensuales y anuales	59
<b>Tabla 18:</b> Unidad Litoestratigráfica	63
<b>Tabla 19:</b> Estratigrafía referente en zonas de influencia de la presa Huayllumayo	71
<b>Tabla 20:</b> Columna Cronoestratigráfica Local	75
<b>Tabla 21:</b> Resumen de características granulométricas y clasificación SUCS	83
<b>Tabla 22:</b> Resumen de Capacidad portante admisible de suelos en Deslizamiento	84
<b>Tabla 23:</b> Clasificación de suelos según sus coeficientes de permeabilidad	85
<b>Tabla 24:</b> Ensayos de permeabilidad y resultados de los coeficientes de permeabilidad	86
<b>Tabla 25:</b> Valoración del macizo rocoso en las márgenes del río Huayllumayo	88
<b>Tabla 26:</b> Resistencia a la compresión uniaxial – Preas Huayllumayo	88

<b>Tabla 27:</b> Capacidad de carga admisible para los macizos rocosos en Qda Huayllumayo	89
<b>Tabla 28:</b> Cuadro de Módulo de Elasticidad y de Poisson	90
<b>Tabla 29:</b> Permeabilidad del área para dos familias de discontinuidades (primer ensayo)	91
<b>Tabla 30:</b> Permeabilidad del área para dos familias de discontinuidades (segundo ensayo)	91
<b>Tabla 31:</b> Profundidad de calicatas C-1	92
<b>Tabla 32:</b> Profundidad y ubicación de calicatas	93
<b>Tabla 33:</b> Penetración DPL	94
<b>Tabla 34:</b> Densidad de Campo	94
<b>Tabla 35:</b> Clasificación Geomecánica del Sondaje Diamantino DM – 1: (Bienawsky)	95
<b>Tabla 36:</b> Sondaje Diamantino DM-2	96
<b>Tabla 37:</b> Sondaje Dinámico DM -3	98
<b>Tabla 38:</b> Clasificación Geomecánica de Bienawsky	99
<b>Tabla 39:</b> Tabla Referencial de Propiedades Geomecánicas	99
<b>Tabla 40:</b> Clasificación de suelos	102
<b>Tabla 41:</b> Calicatas C-1	103
<b>Tabla 42:</b> Vaso Presa de Retención de Agua	104
<b>Tabla 43:</b> Profundidad de cada DPL	105
<b>Tabla 44:</b> Densidad de Campo	106
<b>Tabla 45:</b> Clasificación de suelos vaso de presa	107
<b>Tabla 46:</b> Parámetros de resistencia de eje de presa	112
<b>Tabla 47:</b> Valores de parámetros de adimensionales de la fórmula de capacidad portante.	112
<b>Tabla 48:</b> Valores de capacidad portante de la cimentación de la presa	113
<b>Tabla 49:</b> Valores calculados de asentamiento elástico en la cimentación de la presa.	114
<b>Tabla 50:</b> Factor de seguridad	115
<b>Tabla 51:</b> Valores del gradiente admisible	117
<b>Tabla 52:</b> Cálculo del gradiente hidráulico crítico	118



<b>Tabla 53:</b> Capacidad de la presa de tierra	120
<b>Tabla 54:</b> Capacidad de potencial de daño	121
<b>Tabla 55:</b> Características de la Presa	121
<b>Tabla 56:</b> Riegos de la presa	121
<b>Tabla 57:</b> Características del daño de la presa	122
<b>Tabla 58:</b> Evaluación de sales de cimentación	122
<b>Tabla 59:</b> Volúmenes de material en canteras	125
<b>Tabla 60:</b> Factores de Seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad en Presas de Tierra	126
<b>Tabla 61:</b> Evaluación de taludes	127
<b>Tabla 62:</b> Coordenadas del eje de presa propuesto – Presa	128
<b>Tabla 63:</b> Curva Altura – Volúmen de Presa Proyectada	130
<b>Tabla 64:</b> Distribucion granulometrica de materiales del cuerpo de pedraplen ha ser extraidos de la cantera de rocas.	137
<b>Tabla 65:</b> Criterios de estabilidad.	147
<b>Tabla 66:</b> Resultados del análisis de estabilidad (Factores mínimos)	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación de la Presa Huayllumayo (Elaboración Propia)	47
<b>Figura 2:</b> Ancho estable del río Huayllumayo (GOOGLE EARTH)	58
<b>Figura 3:</b> Plano hidrológico de Huayllumayo	60
<b>Figura 4:</b> Fases tectónica en el que se halla la cuenca Yura –Yauri al que pertenece la zona de estudio. (INGEMMET, 1996)	68
<b>Figura 5:</b> Geología Local (Elaboración Propia)	74
<b>Figura 6:</b> Grafica de patrón de discontinuidades menores encontradas en los estribos de la presa (Elaboración Propia).	78
<b>Figura 7:</b> Macizo rocoso en la margen derecha del rio Huayllumayo	87
<b>Figura 8:</b> Valoración del Macizo en el área Presa Huayllumayo y hoja de calculo.	89
<b>Figura 9:</b> Esquema de cálculo de la gradiente de control	119
<b>Figura 10:</b> Eje de presa propuesto	129
<b>Figura 11:</b> Esquema de operación - NAMINO - Presa Huayllumayo	133
<b>Figura 12:</b> Resumen de niveles de operacion y alturas de presa	134
<b>Figura 13:</b> Características generales de una presa de escollera según ICOLD (Boletin 141,2006).	138
<b>Figura 14:</b> Esquema de la estructura	143
<b>Figura 15:</b> Detalle de plinton y dientes	144
<b>Figura 16:</b> Disposicion de juntas verticales y horizontales	145
<b>Figura 17:</b> Detalle de junta	145
<b>Figura 18:</b> Secuencia de Inyecciones de impermeabilizacion	146

**ÍNDICE DE GRAFÍCOS**

<b>Gráfico 1:</b> Variacion Mensual de la Temperatura (SENAMHI)	49
<b>Gráfico 2:</b> Variación Mensual de Precipitación (SENAMHI)	52
<b>Gráfico 3:</b> Curva Altitud VS Volumen - Vaso Huayllumayo	131
<b>Gráfico 4:</b> Transito de avenidas - Vaso Huayllumayo	131
<b>Gráfico 5:</b> Granulometría recomendada para el apoyo de la pantalla ICOLD Nº 70	141

**ÍNDICE DE FOTOS**

<b>Foto 1:</b> Líneas Sísmicas Instaladas	35
<b>Foto 2:</b> Toma de datos	36
<b>Foto 3:</b> Equipos de Refracción Sísmica	44
<b>Foto 4:</b> Canteras de agregado en el Rio Huayllamayo aguas abajo del eje de presa propuesto(GOOGLE AEARTH).	124

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

$\gamma_w$	: Peso específico del agua (gr/cc).
$\gamma_d$	: Peso específico seco (gr/cc).
%	: Porcentaje.
$\phi$	: Ángulo de fricción interna
ASTM	: American Society for Testing and Materials
B	: Ancho de cimentación
C	: Intercepto cohesivo
Df	: Profundidad de Cimentación
DPL	: Dynamic Probing Light
e	: Relación de vacíos.
Es	: Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
F.s.	: Factor de seguridad
f <sub>0</sub>	: Coeficiente de fricción referencial
fr(r)	: Densidad de probabilidad como función de distancia
fs(s)	: Densidad de probabilidad de S
GP	: Grava Pobremente Graduada
GW	: Grava Bien Graduada
I	: Intensidad generalizada de un sismo en el lugar fijado

ISRM	: International Society for Rock Mechanics
Iw	: Factor de influencia (cm/m)
J <sub>cri</sub>	: Gradiente hidráulico crítico.
k	: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
ML	: Magnitud Local
MM	: Mercalli Modificada
Mm <sup>3</sup>	: Millones de metros cúbicos
Mo	: Magnitud mínima
Ms	: Escala de Richter
n	: Porosidad.
N	: Número de sismo de magnitud M ó mayor por unidad de tiempo.
NO	: Nor-este
P(A/Ei)	: Probabilidad condicional que A ocurra cuando Ei ocurra
PMI	: Project Management Institute
ppm	: Partes por millon
q <sub>s</sub>	: Esfuerzo neto transmitido (Kg/cm <sup>2</sup> )
R	: Localización
RMR	: Sistema de valoración del macizo rocosa
RQD	: Rock-quality designation

RSC	: Resistencia de Compresión Simple
S	: Tamaño del sismo
S.S.T.	: Total de sólidos en suspensión
Sc.	: Factor adimensional de corrección
SE	: Sur-este
SM	: Arena Bien Graduada
SO	: Sur-oeste
SO <sub>4</sub>	: Sulfato
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
T	: Periodo sísmico.
U	: Relación de Poisson
$\Phi_0$	: Coeficiente de la velocidad crítica.
$\delta$	: Asentamiento (cm)



## RESUMEN

La presente investigación denominada estudio geotécnico para el diseño de la presa en la micro- cuenca Huayllumayo – Espinar; tiene como objetivo evaluar las características geológicas y parámetros geotécnicos del terreno donde se emplazará la Presa Huayllumayo ubicado en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco lo que permitirá almacenar 3'000 000m<sup>3</sup> de agua para una altura de presa de 25 m. Donde se desarrolló la caracterización geotécnica para la estructura en el eje de presa, en los cuales se realizaron trabajos de exploración geotécnica tales como mapeo geológico local, prospección geofísica, perforaciones diamantinas, excavación de calicatas, ensayos de laboratorio y determinación del diseño de la geometría apropiado para la construcción de la presa. Geológicamente el área presenta terrenos conformados por rocas volcánicas y suelos cuaternarios de origen fluvio glaciar, que se encuentran en forma de terrazas laterales a los ríos, coluvio aluviales y fluviales. Geomorfológicamente es un cañón resultado de varios procesos, dentro de ellos un proceso inicial correspondiente a la formación de ignimbritas y riolacitas. En las características geológicas del eje de presa presentó afloramientos de rocas volcánicas, depósitos aluviales y depósitos coluviales; considerando que en el estribo derecho presentó afloramiento de rocas volcánicas del complejo Volcánico Cailloma (Np-ca/4), y el estribo izquierdo está cubierto de materiales coluviales que consisten de gravas limosas, mientras que el basamento se trata de rocas volcánicas del complejo Volcánico Cailloma (Np-ca/4). La inclinación de la ladera está en un promedio de 30 a 45° y en las zonas de afloramiento de roca sobrepasa los 70 grados, el cauce de río está cubierta de materiales cuaternarios fluvioaluviales, redondeados cuya potencia es hasta 4.5m, subyace el basamento de rocas volcánicas del complejo Volcánico Cailloma (Np-ca/4). Presenta un RQD de 60. Los parámetros geotécnicos del eje de presa corresponden clasificación SUCS gravas bien graduadas a gravas limosas arenosas GW a SM, su resistencia corresponde a un ángulo de fricción 36°, cohesión nula, densidad natural de la matriz 2.0 a 1.50 gr./cm<sup>3</sup>, peso específico sólidos 2.50 gr/cm<sup>3</sup>. Para el presente caso, el diseño de presa es: 25 m. de altura.

**PALABRAS CLAVES:** Presa, geológico, geotécnico, geomorfológico

## ABSTRACT

The present research called the geotechnical study for the design of the dam in the Huayllumayo - Espinar micro-basin; Its objective is to evaluate the geological characteristics and geotechnical parameters of the land where the Huayllumayo Dam located in the district of Coporaque - Espinar - Cusco will be located, which will allow 3,000,000m<sup>3</sup> of water to be stored for a dam height of 25 m. Where the geotechnical characterization was developed for the structure in the dam axis, in which geotechnical exploration works were carried out, such as local geological mapping, geophysical prospecting, diamond drilling, excavation of test pits, laboratory tests and determination of geometry design appropriate for the construction of the dam. Geologically, the area presents lands formed by volcanic rocks and quaternary soils of glacial fluvial origin, found in the form of lateral terraces to the rivers, alluvial and fluvial colluvium. Geomorphologically it is a canyon that results from several processes, including an initial process corresponding to the formation of ignimbrites and riodacites. In the geological characteristics of the dam axis, there were outcrops of volcanic rocks, alluvial deposits and colluvial deposits; considering that in the right abutment there was an outcrop of volcanic rocks from the Volcánico Cailloma complex (Np-ca / 4), and the left abutment is covered with colluvial materials consisting of silty gravel, while the basement is volcanic rocks from the Volcánico complex Cailloma (Np-ca / 4). The inclination of the slope is in an average of 30 to 45 ° and in the areas of rock outcrop exceeds 70 degrees, the river bed is covered with quaternary fluvial-alluvial materials, whose power is up to 4.5m, underlies the basement of volcanic rocks of the Volcánico Cailloma complex (Np-ca / 4). It has a RQD of 60. The geotechnical parameters of the dam axis correspond to SUCS graded graduated gravel to sand silty gravels GW to SM, its resistance corresponds to a friction angle of 36°, zero cohesion, natural density of the matrix 2.0 to 1.50 gr. / cm<sup>3</sup>, solid specific weight 2.50 gr / cm<sup>3</sup>. For the present case, the dam design is: 25 m. tall.

**KEYWORDS:** Dam, geological, geotechnical, geomorphological

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la construcción de una presa es el estancamiento y almacenamiento de agua de manera segura, con la finalidad de beneficiar a una población. En la actualidad como en la historia las presas de tierra continúan siendo más comunes, principalmente porque en su construcción se utilizan materiales en estado natural o con un mínimo de tratamiento. Las presas de tierra son obras de infraestructura hidráulica, de mucha responsabilidad así mismo involucra la participación de diferentes especialistas en el área de geotecnia, hidráulica, estructuras, topografía, impacto ambiental, etc.

El estudio geológico geotécnico juega un papel muy importante desde el punto de vista de la estabilidad del cuerpo de la presa de tierra y para la seguridad de la misma durante y posterior a su construcción, como es la capacidad portante de suelo, estabilidad de talud, diseño propio de la presa tomando en cuenta los parámetros del suelo como son la cohesión, ángulo de fricción interna el peso específico y básicamente la permeabilidad debajo del nivel de desplante de la cimentación y en el cuerpo de la presa. Se debe realizar un programa de inspección geotécnica en el suelo de fundación, cuerpo y eje de presa, el cual consta principalmente de: auscultaciones geológicas a nivel superficial, reconocimiento del estrato no visible mediante métodos directos e indirectos, tales como las perforaciones diamantinas y prospección geofísica respectivamente, complementados con ensayos de campo y laboratorio. La presa de tierra que se pretende analizar en este trabajo involucra la presa HUAYLLUMAYO, que se

encuentra ubicado en el distrito de Coporaque, provincia de Espinar y departamento del Cusco.

Los parámetros geotécnicos de los materiales obtenidos mediante la inspección geotécnica, se utilizan en los análisis de cálculo por medio de software especializados en el área de la geotécnica, los cuales nos permiten obtener: la simulación de superficies de falla de los taludes del eje de la presa

El estudio geológico geotécnico es el primer peldaño para la evaluación detallada para la buena construcción de la presa de tierra la cual nos determina el control de calidad de los agregados y materiales de cantera. Estos estudios nos determinan si la presa es capaz de almacenar grandes volúmenes de agua o por lo contrario las pérdidas de agua, debido a las filtraciones o presencia de algunas fallas que pueden existir en el vaso donde se embalsara agua, un estudio detallado geológico y geotécnico es el primer paso para la buena construcción de presa. Con todo esto es posible determinar las soluciones apropiadas que faciliten la construcción de la presa de manera segura.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El presente trabajo corresponde al proyecto de investigación denominado “ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LA PRESA EN LA MICROCUENCA HUAYLLUMAYO – ESPINAR”. De acuerdo a la recopilación de información disponible y la demanda de captar recursos hídricos con fines de almacenamiento y mejoramiento de los servicios de las poblaciones aledañas, se vio por conveniente realizar el presente trabajo de investigación estudios basados en las características geológicas y geotécnicas dentro del área del embalsamiento y eje de represamiento el cual ayudara a determinar los aspectos geológicos y geotécnicos de la microcuenca de Huayllumayo – Espinar.

La exhaustiva actividad de programas de prospección, exploración encaminadas a descubrir fuentes de recursos nos lleva a desarrollar nuevas y mejores técnicas de

prospección usando métodos directos e indirectos y por ende la posibilidad de poder establecer modelos geológicos, que son de suma importancia en una etapa de exploración geológica para la construcción de la Presa Huayllumayo.

Debido a la falta de estudios básicos para la construcción de un represamiento se requiere determinar los aspectos geológicos, geomorfológicos, estructurales y geotécnicos de los materiales presentes en el área de estudio esto con el fin de ampliar y determinar la visión geológica dentro del área de estudio.

#### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

- ❖ Las características geológicas y los parámetros geotécnicos del terreno de fundación de la presa- Huayllumayo y los materiales de préstamo a utilizar, ¿serán adecuadas para su construcción?
- ❖ ¿Cuáles serán las características geológicas de la zona de construcción de la Presa Huayllumayo?
- ❖ ¿Cuáles serán los parámetros geotécnicos de la zona de construcción de la presa- Huayllumayo?

## 1.2. ANTECEDENTES

Actualmente la Presa Huayllumayo, construido hace más de 20 años, abastece de agua a la población de Espinar, la cual se ha incrementado sustancialmente, por lo que existe un déficit en la provisión de agua por incremento en la demanda de agua para consumo. El potencial de almacenamiento de las aguas en la presa del río Huayllumayo, todavía constituye una alternativa de solución en el abastecimiento a la población de Espinar, a pesar de contar con el sistema adicional que viene del río Apurímac mediante el canal de riego de la Irrigación Cañón de Apurímac, el cual por deficiencias en la operación no satisface plenamente las demandas de consumo. La presa Huayllumayo, a largo de los últimos 20 años ha tenido problemas de sedimentación en el embalse, el mismo que ha generado problemas en la operación así como disminución en el volumen útil de almacenamiento, siendo necesario prever

en el proyecto de mejoramiento un volumen de azolves por sedimentación el mismo que pueda ser controlado y permita la operación de la presa durante su vida útil.

Se desconocen estudios previos establecidos y concernientes al tema, para estimar las unidades litológicas, se toma como referencia la carta geológica del cuadrángulo de Yauri.

La represa Huayllumayo ha sido construida con fines de abastecimiento de agua potable para la población de Espinar y que en la actualidad no abastece el volumen represado, dado el crecimiento demográfico explosivo ocurrido las últimas décadas por la actividad Minera de Antapacay, en el momento actual y Tintaya inicialmente.

Las condiciones de operación de la presa en el momento actual no son óptimas, debido al paso del tiempo y probablemente por algunas deficiencias de orden estructural o geológico-geotécnico que se han presentado en el eje de la presa, ya que se tiene pérdidas por filtraciones y que no se han reparado adecuadamente, lo que disminuye el volumen la seguridad de represamiento en el tiempo.

El volumen de la presa en el momento actual, se encuentra casi en su máximo volumen, sin embargo, la hidrología indica que es probable tener mayor cantidad de volumen, por tanto, es posible incrementar el volumen de almacenamiento, consiguiente elevar el nivel actual de la presa.

Bajo estas consideraciones, es que la Municipalidad Provincial de Espinar, y considerando sus competencias de atender a su población con agua potable, ha convocado se efectúe los estudios para mejorar las condiciones de almacenamiento de agua con fines de consumo humano para la población de Espinar, mediante el encimamiento o construcción de una nueva presa con la finalidad de incrementar el volumen de almacenamiento de agua, para lo cual, es necesario realizar los estudios geológicos, geotécnicos y de diseño adecuadas.

Sarmiento (2009), especifica que para almacenar el agua de los ríos que no garantizan en todo momento el caudal necesario se construyen embalses, básicamente un embalse es creado por una presa, que interrumpe el cauce natural de un río, poniendo a disposición del operador del embalse un volumen de almacenamiento potencial que puede ser utilizado para múltiples fines. La elaboración de este manual tiene como fin ilustrar al estudiante o personas interesadas, para que tenga una visión más amplia sobre lo multidisciplinario que resultan los estudios y construcción de un embalse, así mismo conocer los requisitos y estudios necesarios para su concepción. De una u otra manera la construcción de presas para embalsar agua requiere de una metodología básica en cuanto a estudios y diseños que se debe tener en cuenta cuando se quiera llevar a cabo un proyecto de esta magnitud. A nivel general existen ciertas propuestas de los pasos y estudios para la construcción de una presa. En este manual se propone una serie de pasos y estudios a desarrollar cuando se quiere construir una presa, estos pasos y esta serie de estudios propuestos, han sido utilizados en la construcción de varias presas en Colombia, y fueron los que se utilizaron para el proyecto de regulación del Rio Tona – Embalse de Bucaramanga. Esta base de estudio se utilizara en el presente proyecto.

Arrieta, Pérez y Díez (2012), en un estudio para la construcción de presa de Catrovido estableció en el estudio geológico que las formaciones Wealdenes las que componen el terreno del vaso y la cerrada de la presa: limolitas, areniscas, microconglomerados y arcillas. Estas están recubiertas por un pequeño espesor de formaciones cuaternarias (aluviales y coluviales). En el estudio estructural, la disposición estructural de estas formaciones en la zona de la cerrada es monoclinial, con rumbo de los estratos E-O y buzamiento al sur, en ambos márgenes de unos 15 . El grado de fracturación de estas formaciones es escaso, tanto en la cerrada como en el vaso, aunque se han detectado presencia de fallas con diaclasas asociadas entre 40 y 90 m. El estudio de resistencias indicaron que las formaciones son adecuadas para sustentar la presa. El estrato competente se encuentra a 15m. por debajo de la superficie en la zona del cauce y a unos 5 m. de profundidad en las márgenes, dando una clasificación RMR. En la permeabilidad mediante los ensayos Lugeon se han descubierto dos zonas con comportamientos muy diferentes de



admisión de agua ( $>10U.L.$  y  $\leq 10 U.L.$ ). También establece que en general las laderas del embalse son estables. Con lo cual podría haber algún problema puntual con reptaciones locales de la capa superficial de suelo arcilloso. Es así que se establece que cualquier tipología es admisible para la construcción de esta presa. Sólo habrá que fijarse en los condicionantes tanto técnicos como económicos para realizar la elección más adecuada. Por lo que a parte de una presa de gravedad también habrá que considerar una de materiales sueltos, o de hormigón autocompactante. Se tomara como referencia el estudio de clasificación RMR.

Gandarillas y Gandarillas (2010), establece que las necesidades de almacenar y regular agua con fines de agua potable para las ciudades, riego para la agricultura, industria, minería y energía en Bolivia, han dado lugar a una creciente atención al aprovechamiento de los recursos hídricos en el marco de las condiciones climáticas y geográficas del territorio nacional. En ese contexto, la construcción de presas representa una amplia perspectiva para mejorar el aprovechamiento del agua; lo cual puede constatarse en la gran cantidad de presas construidas durante los últimos 20 años. En muchos casos, las presas presentan condiciones de riesgo bastante alto ante las posibilidades de falla o colapso, que pueden atribuirse a los criterios de diseño, los tipos de materiales y sobre todo las bajas condiciones de control de calidad durante la construcción; por lo que es necesario desarrollar normas, criterios y enfoques que permitan diseñar y construir presas que brinden altas condiciones de calidad, durabilidad y seguridad, pero que a la vez permitan optimizar los costos de las inversiones y los períodos de construcción. Los autores identifican en las presas de enrocado con membrana impermeable (Concrete Faced Rockfill Dams: CFRD) un alto potencial de aplicación para las condiciones bolivianas, sobre todo en los valles donde es abundante la presencia de roca fracturada en los sitios de potenciales presas. Consecuentemente, en este documento se proporciona información relacionada con los criterios y enfoques principales que deben considerarse para el diseño y construcción de presas pequeñas y medianas de enrocado con membrana impermeable (CFRD).

Carrion, Gonzales y Chavez (2005), el trabajo tuvo como objetivo principal los estudios y diseños de la Presa de embalse que será parte del proyecto Parque del Conocimiento. La construcción del embalse involucra aproximadamente 20 ha del terreno del Campus Gustavo Galindo Velasco con lo cual se dispondrá de un hermoso lago cuya función principal es el paisajismo. La presa a diseñarse es de tierra, tipo zonada con espaldones de rocas meteorizadas, núcleo impermeable de arcilla, filtros-drenes y protección de enrocado, al construirse tendrá 22 de altura y se constituye en el cierre de dos quebradas que bordean las instalaciones del Parque del conocimiento, que ya están siendo construidas; incluye también un vertedor que se construirá en la margen izquierda del Vaso. Con una capacidad de 1250000 m<sup>3</sup>, será el embalse de mayor capacidad posible dentro del Campus Politécnico.

Franco, Martinez, Dumas, Castellanos y Aleman (2008), establece que los estudios Geotécnicos está contemplada la ejecución de Pruebas de Permeabilidad y pruebas de presión crítica; así como pruebas de Inyectabilidad de la roca, en por lo menos dos sitios representativos de la masa rocosa existente en la zona de la boquilla donde se construirá la presa; con el propósito de poder obtener la información necesaria que permita definir las Especificaciones Técnicas y el diseño de los Tratamientos de impermeabilización o inyecciones principales que formarán el plano de estanqueidad de la presa.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La provincia de Espinar ha vivido cambios importantes en los últimos 30 años. De haber sido una de las provincias pobres por su deficiente desarrollo económico-social; con la presencia de la Mina Tintaya, ha cambiado hasta convertirse en una de las provincias más pujantes; y con ello la ciudad y población urbana crecieron. La población comunal se ha trasladado hacia la capital provincial ya las ciudades distritales.

Este crecimiento poblacional, ha incrementado sustancialmente la demanda de agua para consumo, siendo esta problemática una de las más sentidas en la

provincia. Para lo cual se debe tener en cuenta que la oferta de agua es variable; debido a que los ríos tienen caudales importantes en la época de lluvia, pero se reducen extremadamente en la época de secas, que resulta ser la mayor parte del año.

Es así que la identificación y definición de las condiciones geológicas y geotécnicas del emplazamiento de presas debe ser adecuadamente estudiada, de manera que en función de las características de los materiales de fundación se pueda efectuar una acertada determinación del tipo de presa (Gandarillas Antezana & Gandarillas Rodriguez, 2010).

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. Hipótesis General**

- ❖ Las características geológicas son óptimas y los parámetros geotécnicos no son óptimos y se optimizarán para el diseño y construcción de la Presa Huayllumayo ubicada en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco.

### **1.4.2. Hipótesis Específicas**

- ❖ Las características geológicas son favorables para el diseño y construcción de la Presa Huayllumayo ubicada en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco.
- ❖ Los parámetros geotécnicos no son óptimos y se optimizará para el diseño y construcción de la Presa Huayllumayo ubicada en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco.

## 1.5. OBJETIVOS

### 1.5.1. Objetivo General

- ❖ Determinar las características geológicas y los parámetros geotécnico del terreno donde se emplazará la Presa Huayllumayo ubicada en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- ❖ Identificar las características geológicas que presenta la zona de estudio de la Presa Huayllumayo ubicada en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco.
- ❖ Determinar los parámetros geotécnicos que permitirán optimizar el diseño y construcción de la Presa Huayllumayo ubicada en el distrito de Coporaque – Espinar – Cusco.

## 1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Se pretende determinar el alcance de la investigación, definiendo lo que se pretende que sea y lo que no se pretende que sea ésta.

En primer lugar, la investigación no pretende imponer un método absoluto de auscultación geológica, ni establecer un orden en lo que respecta a la investigación geotécnica. Lo que esta tesis busca, es contribuir al conocimiento de los parámetros que condicionan los potenciales problemas que surgen en la construcción de una presa de tierra sobre terrenos morrénicos, por tal motivo, y para cumplir con los objetivos planteados se realizará una evaluación geotécnica en la zona de influencia del área de investigación, y en base a la inspección y análisis de los resultados de campo y laboratorio, se presentará la solución pertinente a los posibles problemas a encontrar.

Para el cumplimiento de dicha evaluación se desarrollaron diferentes investigaciones las cuales se detallan a continuación:

Caracterización geológica de la zona en estudio, en donde se identificó la litología, estratigrafía, estructuras geológicas, características geomorfológicas, zonas de alteración y procesos de geodinámica externa e interna.

- ❖ Evaluación local de la geodinámica externa de la zona que abarca el proyecto de investigación, a fin de determinar las alternativas de solución.
- ❖ Para la caracterización geotécnica se consideraron exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales se determinaron en términos de estabilidad y condiciones del suelo.
- ❖ Ensayos de campo y laboratorio en muestras de suelos extraídos de la zona de investigación.
- ❖ Descripción de las condiciones de suelo, estratigrafía e identificación de los afloramientos presentes en la zona de investigación.
- ❖ Exploración de campo mediante perforaciones diamantinas y calicatas para efectuar los cortes geológicos y posterior interpretación de la geología y geotecnia.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN LITERARIA

#### 2.1. PRESA DE TIERRA

En ingeniería se denomina presa o represa a un muro grueso de piedra u otro material, como hormigón; material suelto o granular, que se construye a través de un río, arroyo o canal para almacenar el agua y elevar su nivel, con el fin de regular el caudal, para su aprovechamiento en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones o en la producción de energía mecánica. La energía mecánica puede aprovecharse directamente como en los molinos (actualmente en desuso) o de forma indirecta para producir energía eléctrica como en las centrales hidroeléctricas (Saldoval, 2012).

Las primeras presas construidas en la historia fueron de tierra, debido principalmente a que en su construcción se utilizan materiales naturales con mínimos procesos. Además, los requisitos de cimentación para este tipo de presa son menos rigurosos que en otros casos, por lo tanto sigue predominando el empleo de presas de tierra de embalses en gran parte porque el número de emplazamientos adecuados para estructuras de hormigón va disminuyendo, debido al gran desarrollo que han tenido los aprovechamientos hidráulicos especialmente en la regiones áridas o semiáridas, en donde es fundamental el almacenamiento del agua para regadío. Sin embargo, hoy en día los motivos principales para construir presas son concentrar el agua del río en un sitio determinado, lo que permite generar electricidad, regular el

agua y dirigirla hacia canales y sistemas de abastecimiento, aumentar la profundidad de los ríos para hacerlos navegables, controlar el caudal del agua durante los períodos de inundaciones y sequía. Una presa puede denominarse de tierra si los suelos compactados representan más del 50% del volumen colocado de tierra y se construye en suelos seleccionados cuidadosamente para la ingeniería, de compactación uniforme e intensiva en capas más o menos delgadas y con un contenido de humedad controlado. Se utilizan dos tipos de materiales muy diferentes; por un lado, piedra o grava suelta, muy estable, pero también muy permeable; por otro, arcilla, impermeable pero muy inestable. Lo esencial en este tipo de represas es lograr una buena impermeabilización, que se confía al macizo de represas en su totalidad o bien a un núcleo o espaldón de material impermeable; por lo que las presas de tierra que se han construido con éxito utilizan grava, arena, limo, polvo de roca y arcilla (Díaz y Migdelis, 2009).

## 2.2. FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius, Blidberg, Post, y Olsson (1922) en: (Froilan, 2014), presento el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte.

Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. El factor de seguridad (FS) también puede definirse en otras maneras. En primer lugar es posible definirlo como cociente entre el valor de la cohesión o Angulo de rozamiento de talud actual estable. También es posible definirlo como el cociente entre los momentos que actúan en un talud resistente al deslizamiento y los que inducen al deslizamiento (Froilán, 2014).



### **2.3. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**

Constituyen una práctica habitual en todos los estudios de presas. Los más utilizados son los ensayos LUGEON en roca fracturada, y los ensayos LEFRANC en suelos o roca muy permeable (Briones, 1994), deben realizarse de forma sistemática.

### **2.4. PROCESOS DE SATURACIÓN HINCHAMIENTO Y COLAPSO**

Cuando se está construyendo una obra sobre suelos parcialmente saturados, es preciso tener en cuenta que el proceso de saturación en sí mismo puede inducir efectos más importantes que si el suelo hubiera estado saturado desde antes de construir una cimentación. Como luego se verá, la saturación implica cambios de volumen del suelo, que en determinados casos pueden ser importantes. En estas condiciones, es más perjudicial que dichos cambios tengan lugar cuando la obra ya está construida y en servicio. Los suelos granulares (gravas y arenas) apenas sufren cambios de volumen al saturarse. El problema se reduce a los suelos de grano fino (Huanca, 1991).

#### **2.4.1. SUELOS EXPANSIVOS**

El comportamiento descrito es típico de los suelos finos normales, con deformaciones significativas pero moderadas (expansiones del orden del 1% o ligeramente superiores). Sin embargo, existen algunos suelos en los que la expansión por saturación es significativamente superior. Estos suelos se denominan "expansivos". El carácter expansivo de un suelo suele estar asociado a la presencia de algunos minerales arcillosos, que tienen la propiedad de admitir moléculas de agua en el interior de su red cristalina. De ellos el más frecuente es la montmorillonita. El carácter expansivo de estas especies mineralógicas va asociado a una gran actividad, que se manifiesta también en una elevada plasticidad, siendo frecuentes límites líquidos incluso superiores a 100%. Esto permite identificar la posible presencia de estos minerales, y por tanto adoptar las medidas para evaluar y tener

en cuenta su carácter expansivo. En estos suelos, los cambios de volumen pueden ser importantes incluso para variaciones de humedad sin llegar a la saturación. Los cambios estacionales hacen que la evaporación varíe de forma cíclica a lo largo del año, y ello suele afectar a la zona más superficial del suelo (del orden de 1 ó 2 metros de profundidad), que resulta sometida a expansiones y contracciones cíclicas. Esta es una de las razones por las que es habitual imponer a las cimentaciones una profundidad mínima superior a este valor. Por otra parte, la construcción de un edificio implica que el área ocupada deja de estar sometida a la evaporación, por lo que se altera el equilibrio dinámico establecido entre la pérdida de agua por evaporación y el ascenso capilar desde el nivel freático. Entonces, la zona de terreno situada bajo el edificio aumenta de humedad y, si el suelo es expansivo, se produce el correspondiente hinchamiento, con posibles efectos perjudiciales para la estructura (Grupo Geotecnia, 2010).

#### **2.4.2. SUELOS COLAPSABLES**

Por otra parte, existen algunos suelos en los que la curva de hinchamiento bajo carga está anormalmente desplazada hacia abajo. En ellos, la presión crítica de colapso es pequeña, y para las cargas usuales se produce colapso por inundación. Estos suelos se denominan "colapsables". El colapso es difícil de explicar analizando las variaciones medias de las presiones de agua y aire. En general, el fenómeno va asociado a suelos con estructura muy abierta, de baja densidad, en la que las partículas están unidas entre sí por enlaces de cierta resistencia. La saturación provoca el debilitamiento o destrucción de estos enlaces, con el consiguiente colapso de la estructura (Grupo Geotecnia, 2010).

#### **2.4.3. PRESION DE POROS**

La presión de los fluidos en los poros de un yacimiento, normalmente la presión hidrostática, a la presión ejercida por una columna de aguas desde la profundidad de la formación hasta el nivel del mar. Cuando las rocas impermeables tales como las lutitas formadas como sedimentos se compactan, sus fluidos intersticiales no siempre

pueden filtrarse y deben sustentar toda la columna de roca suprayacente, lo que genera presiones de formación anormalmente altas.

## **2.5. COMPACTACIONES DE SUELOS**

Es el proceso físico por el cual los sedimentos se consolidan, lo que produce la reducción del espacio poroso a medida que los granos se empaquetan en forma más estrecha. A medida que se acumulan las capas de sedimentos, la presión creciente de la sobrecarga durante el sepultamiento produce la compactación de los sedimentos, la pérdida de fluidos intersticiales y la forma de rocas conforme los granos se sueldan o se cementan entre sí (Heredia, 2002).

La compactación es un proceso por el cual se disminuye el índice de poros de los suelos, sin variar su contenido de humedad (cuando se disminuye la humedad, se suele hablar de "deseccación", no de compactación). Aunque hay procesos naturales de compactación, el interés se centra en los procesos artificiales. Suele distinguirse entre:

### **2.5.1. COMPACTACIÓN SUPERFICIAL**

La que se consigue mediante el paso de elementos compactadores sobre la superficie del terreno. Es el procedimiento usual para construcción de rellenos, terraplenes o presas de materiales sueltos.

### **2.5.2. COMPACTACIÓN PROFUNDA**

Se aplica para mejorar las características de terrenos o rellenos preexistentes, de espesor considerable. Se realiza en el interior del terreno mediante diversos procedimientos (columnas de grava, voladuras, inyecciones, etc.). Todos ellos requieren el uso de maquinaria especializada.

Aunque gran parte de los conceptos son generales, nos referiremos en lo que sigue a la compactación superficial. El alcance de la compactación en profundidad

es pequeño, por lo que el material se extiende en tongadas de pequeño espesor (del orden de decímetros), compactando cada tongada antes de extender la siguiente. En general se utilizan rodillos estáticos o vibratorios, que provocan presión estática e impacto. El efecto dinámico de la vibración es especialmente eficaz en suelos granulares. En el caso de suelos arcillosos (por ejemplo, en núcleos impermeables de presas de tierras), se emplean rodillos de pata de cabra, que inducen compactación por amasado (Departamento de Ciencia e Ingeniería, 2010).

## 2.6. PROCESOS DE COMPACTACIÓN

Se aplica para mejorar las características de terrenos o rellenos preexistentes, de espesor considerable. Se realiza en el interior del terreno mediante diversos procedimientos (columnas de grava, voladuras, inyecciones, etc.). Todos ellos requieren el uso de maquinaria especializada. Aunque gran parte de los conceptos son generales, nos referiremos en lo que sigue a la compactación superficial. El alcance de la compactación en profundidad es pequeño, por lo que el material se extiende en tongadas de pequeño espesor (del orden de decímetros), compactando cada tongada antes de extender la siguiente. En general se utilizan rodillos estáticos o vibratorios, que provocan presión estática e impacto. El efecto dinámico de la vibración es especialmente eficaz en suelos granulares. En el caso de suelos arcillosos (por ejemplo, en núcleos impermeables de presas de tierras), se emplean rodillos de pata de cabra, que inducen compactación por amasado (Departamento de Ciencia e Ingeniería , 2010).

## 2.7. EMBALSE

Embalse es su estanqueidad. Sin embargo dependiendo del uso del mismo, las pérdidas de agua pueden ser más menos tolerables. Así, un embalse de regulación de avenidas no requiere la misma estanqueidad que para abastecimiento regadío por otro lado, las condiciones de impermeabilidad también deben ser analizadas en función de las necesidades del aprovechamiento, y a que, en ocasiones, puede ser económicamente rentable proceder a tratamientos de impermeabilización en zonas

concretas. La construcción de una presa supone un cambio importante en la hidrología e hidrogeología de la cuenca afectada por el embalse, con la inundación de una parte del valle, la elevación de los niveles freáticos y su oscilación periódica. Estas modificaciones afectan a la hidrodinámica de los acuíferos, pudiendo producirse un flujo de agua desde el embalse hacia el exterior del vaso, o bien una recarga del embalse desde los acuíferos que bordean al vaso (CNEGP, 1999).

## **2.8. VASO**

Es la parte de valle que inundándose contiene el agua embalsada.

### **2.8.1. PRINCIPALES COMPONENTES DE VASO DE ALMACENAMIENTO**

NANIMO (nivel de aguas mínimas de operación) es el nivel más bajo con el que puede operar la presa. Cuando esta es para irrigación y otros usos. El NAMINO (también llamado en este caso el NAMIN (nivel de aguas mínimas)), coinciden con el nivel al que se encuentra la entrada de la obra, en el caso de presa para generación de energía eléctrica, el NAMINO se fija de acuerdo con la carga MINIMA necesaria para que las turbinas operen en buenas condiciones. El volumen muerto es el que queda abajo del NAMINO o NAMIN, es el volumen del que no se puede disponer. El volumen de azolves es el que queda debajo del nivel de la toma y se reserva para recibir el acarreo de sólidos por el río durante la vida útil de la presa. La operación de la presa se lleva a cabo entre el NAMINO o NAMIN y el NAMO (nivel de aguas máximo ordinario o de operación) el NAMO es el máximo nivel con lo que puede operar la presa para satisfacer las demandas cuando el vertedor de excedencia (estructura que sirve para desalojar los volúmenes excedentes de agua que puede poner en peligro la seguridad de la obra) no es controlada por compuertas el NAMO coincide con su cresta o punto más alto del vertedor. En el caso de que la descarga por el vertedor está controlada, el NAMO puede estar por arriba de la cresta e incluso puede cambiar a lo largo del año. Así en épocas de estiaje es posible fijar un NAMO mayor que en épocas de avenidas, pues la probabilidad de que se presente una avenida de la primera época es menor que la segunda. El volumen que se almacena entre el

NAMO y el NAMIN o NAMINO se llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisface la demanda de agua. El NAME (nivel de aguas máxima extraordinaria) es el nivel más alto que debe alcanzarse el agua en el vaso bajo cualquier condición. El volumen que queda entre este nivel y el NAMO llamado súper almacenamiento (CNEGP, 1999).

## 2.9. LA CERRADA

Es también reconocido con el nombre de boquilla es el punto de concreto o de materiales sueltos del terreno donde se va a construir la presa.

## 2.10. TALUDES

Los taludes de un proyecto de una presa pueden variar dependiendo de los materiales disponibles, tipo de fundación y altura de la presa. En este caso veremos los taludes necesarios para una fundación estable, si la fundación no es estable necesitaría rellenos estabilizantes y tratamientos especiales a la fundación. Un cimiento permeable puede necesitar la adición de rastrillos aguas arriba, para disminuir la filtración o de capas horizontales de drenaje aguas abajo, para proporcionar estabilidad contra las presiones, debido a la filtración. El talud de aguas arriba puede ser más suave que el de aguas abajo para que la presa no sufra desembalse rápido; estos taludes varían 2:1 hasta 4:1. Los taludes normales de aguas abajo para pequeñas presas de tierra son de 2:1 cuando el terraplén se proyecte en una zona permeable aguas abajo y de 2 ½:1 cuando la presa es impermeable (Cosillo, 1999).

## 2.11. BORDO LIBRE

El bordo libre es la distancia vertical entre la corona y el nivel normal de aguas dentro de la presa. El bordo libre mínimo es la diferencia entre la corona y el nivel máximo de agua esperado. Su objetivo es evitar el desbordamiento por el efecto de las olas u otros factores de seguridad contra un asentamiento de la presa mayor al

previsto, al mal funcionamiento de vertedor o a diferencias de niveles productos de problemas constructivos.

La distancia de bordo libre donde fetch es la distancia con la que el viento puede actuar sobre una masa de agua (Froilan, 2014).

## 2.12. LOS ESTRIBOS

Son laterales del muro que están en contacto con la cerrada contra la que se apoya. Debe evitarse la entrega de alineamiento sobresaliente a angostos de la ladera deben excavarse los materiales meteorizados o sueltos, pueden requerirse inyectar estribos debe proveerse un sistema de control de erosión en la unión del talud de la presa y de los estribos. Los taludes de los estribos, las pendientes fuertes de los estribos producen grietas por asentamiento del terraplén de la presa especialmente en la parte más alta de la presa (Delgado, 1996).

## 2.13. LA CIMENTACIÓN

La cimentación de una presa, independientemente de su tipología, debe reunir las siguientes condiciones:

- Resistencia y estabilidad tanto del macizo de cimentación como de los estribos.
- Deformabilidad compatible con las cargas de la presa.
- Estanqueidad de la cimentación y control de las fuerzas de filtraciones con eliminación de las subpresiones o reducción a los niveles exigidos por la estabilidad de la presa.
- Estabilidad frente a erosiones internas y socavaciones.
- Estabilidad frente a sismos y efectos inducidos (licuefacción, densificación, colapsos, fallas activas, etc.).
- Estabilidad frente a movimientos del terreno (deslizamientos, hundimientos, subsidencia etc (Crespo, 1990).

## 2.14. EL ALVIADERO

Conducto que sirve para dar salida a las aguas sobrantes de un embalse o canalización.

## 2.15. LAS COMPUERTAS

Son los dispositivos mecánicos destinados a regular el caudal de agua a través de la presa.

## 2.16. EL DESAGUE DE FONDO

Permite mantener el dominio caudal ecológico aguas debajo de la presa y vaciar la presa en caso de ser necesario.

## 2.17. NUCLEO IMPERMEABLE

Es el elemento de la presa que cierra el valle al paso del agua contenida en el embalse o vaso (Juarez, 1996).

## 2.18. METODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

### 2.18.1. METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

Se evalúa el talud en su estado de falla, basándose en las consideraciones de equilibrio límite. El talud se desliza a lo largo de una superficie de falla, en donde se moviliza toda la resistencia al corte del material. Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

- **METODOS EXACTOS**

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos



de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, etc.). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuñas.

- **MÉTODOS NO EXACTOS**

En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

### **2.18.2. MÉTODOS DE DOVELAS O REBANADAS**

Los métodos empleados para calcular el factor de seguridad para cualquier superficie de deslizamiento de prueba deberían tomar en cuenta los cambios en la resistencia al corte y en la presión variable de agua de poros a lo largo de la superficie de deslizamiento potencial. Los cambios en los parámetros de resistencia y en las condiciones de presión de agua de poros pueden ser tomados en cuenta por el procedimiento general conocido como método de “tajadas” o de dovelas. En este método, se escoge una superficie de prueba y la masa potencial de deslizamiento se divide en un número de tajadas verticales.

### **2.18.3. MÉTODO SIMPLIFICADO DE BISHOP**

El método de BISHOP supone la superficie de deslizamiento circular. Se supone la masa deslizante dividida en  $n$  fajas verticales.

#### **2.18.4. METODOS PRECISOS Y COMPLETOS**

Cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.

#### **2.18.5. METODOS DE MORGENSTEM — PRICE**

Este método cumple con las condiciones de equilibrio de fuerza como de momentos. La dirección de la resultante de las fuerzas normal y de corte en las en las caras laterales de las dovelas es determinada por medio de una función arbitraria  $f(x)$ . El porcentaje de  $\lambda$  de esta función requerida para satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos es calculado mediante iteración (Euchun y Braja, 2001).

#### **2.19. METODOS SÍSMICOS**

En Jhon Michell (1767), publicó un escrito en el cual establecía que el movimiento del terreno producido por terremotos, se transmite a través de las vibraciones elásticas en la corteza terrestre; además, sugirió que de las observaciones sobre el tiempo de impacto en diferentes lugares, permitía determinar el lugar de origen del terremoto. La técnica de refracción sísmica nació por parte de los geofísicos para localizar los domos salinos entre 1905 y 1906. En ese sentido L P Garrett condujo de manera exitosa este tipo de exploraciones.

#### **2.20. METODOS ELÉCTRICOS**

Los primeros descubrimientos de que la tierra actuaba como un conductor se deben en 1746 a Watson, quien notó una corriente errática que pasaba a través de dos electrodos hincados en el terreno y separado varios kilómetros, de igual manera observó que cuando se cerraba el circuito conectando cables, el flujo era diferente (Bowles, 1982).

## 2.21. CURVA GRANULOMÉTRICA

Habrán en general partículas de todos los tamaños (grava, arena, limo y arcilla, curva granulométrica, que indica, para cada diámetro de partícula D, el porcentaje en peso de partículas menores que D. Se representa en escala logarítmica de tamaños.

## 2.22. CLASIFICACION GEOMECANICA DE ROCA

Mediante el estudio de las condiciones geológicas subterráneas del área, se pueden establecer los planes a seguir para garantizar la instalación adecuada de las fortificaciones. Existen diferentes tipos de roca, cada una de las cuales tienen sus propias características y propiedades físicas. Existen también, diferentes situaciones que requieren el uso de fortificación adicional para consolidar los estratos de la roca, afirmar los bloques y prevenir la caída de roca. Si bien es cierto, previo a la construcción de una labor subterránea, se realiza un estudio preliminar de la geología del terreno mediante sondajes (muestras de perforación diamantina), mapeos geológicos y otros, es físicamente imposible detectar completamente las condiciones en que se encuentran los diversos elementos de un cuerpo tan complicado como es el macizo rocoso.

### 2.22.1. CLASIFICACION GEOMECANICA

#### ❖ RQD (Rock Quality Designation):

Designación de la Calidad de Roca, proceso que utiliza la calidad de las muestras de perforación (sondajes) diamantina (Deere, 1964), para determinar la calidad de la roca masiva in situ.

Normalmente muestras de 54,7mm x 1,5 m, resultando en un porcentaje como el siguiente:

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de los pedasos de la muestra} > 10\text{cm}}{\text{longitud total de la muestra}} \times 100\%$$

0 – 25 % Muy Malo. 25 – 50 % Malo. 50 – 75 % Regular. 75 – 90 % Bueno. 90 – 100 % Muy Bueno.

El valor de 10 cm = diámetro de la muestra x 2 Utilizando el sistema RQD tenemos una indicación de la calidad de la roca en el área de la muestra, la existencia de fallas, fracturas presentes y de las fuerzas presente en la roca.

#### ❖ **RMR (Rock Mass Rating):**

Parámetros Utilizados Para RMR :

- ✓ Dureza de la roca.
- ✓ RQD- Rock Quality Designation (Designación de la Calidad de la Roca).
- ✓ Frecuencia y alteración de las fracturas.
- ✓ Fuerzas en la Masa Rocosa in Situ.

### **2.22.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENAWSKY**

Para poder evaluar adecuadamente las características geotécnicas de los materiales de la cimentación, se han utilizado los criterios de evaluación Geomecánica de Bienawsky que se basan principalmente sobre una serie de factores de observación directa de los testigos recuperados en el proceso de perforación. Se han efectuado además ensayos de permeabilidad tipo Le Frank (A gravedad) en los tramos de suelos y tipo Lugeon (A presión) en los tramos rocosos. Los conceptos y criterios de la evaluación Geomecánica de Bienawsky se resumen a continuación de la siguiente manera:

#### **A. Índice R.Q.D.**

Es un índice cuantitativo, basado en la recuperación obtenida en sondeos realizados con diámetro no inferior al HQ.

**Tabla 1:** Clasificación del macizo rocoso en función del R.Q.D.

RQD (%)	Calidad de roca
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Excelente

Fuente: Deere, 1967

Es el factor de evaluación geomecánica que indica la resistencia a la compresión no confinada de la roca, según la escala siguiente: Se han tenido en cuenta los ensayos de carga puntual realizados en los testigos escogidos de todas las perforaciones indicadas.

- ❖ Roca muy competente que al golpearla con el martillo da un sonido muy limpio y es muy difícil de romper ( $2000 < q_u$ ). Que es igual a  $> 250$  Mpa.
- ❖ Roca competente que se rompe con el martillo y en la que esta produce una raya superficial sonora y da un sonido limpio ( $600 < q_u < 2000$ ). Que es Igual de 100 a 250 Mpa
- ❖ Roca media que se pueda rayar fácilmente con el martillo y no da sonido limpio ( $200 < q_u < 600$ ). Que es igual de 50 a 100 Mpa
- ❖ Roca poco competente que se puede marcar fácilmente con el martillo, no es posible romper a mano en secciones de 10 cms ( $60 < q_u < 200$ ). Que es igual a 25 a 50 Mpa.
- ❖ Roca muy poco competente con aspecto de suelo, pero que se puede reconocer la estructura de roca original. Un impacto de la punta del martillo deja huella y puede romperse con la mano ( $q_u < 60$ ). Que es  $< 25$  Mpa.

## B. Espaciamiento entre Discontinuidades

Constituye otro factor de evaluación geomecánica de la roca, en la cual se mide el espaciamiento o longitud de la roca sana entre una fractura y otra (fallas, fracturas o fisuras). De acuerdo a la magnitud de dichos espaciamientos.

**Tabla 2:** Clasificación de las rocas

CLASES	ESPACIAMIENTO
A	Más de 2m
B	Entre 2 y 0.60m
C	Entre 0.60 y 0.20m
D	Entre 0.20 y 0.06m
E	Entre 0.06 y 0.00m

Fuente: Deere, 1967

## C. Condiciones de las juntas

- ❖ Superficies muy rugosas.- las juntas son continuas. No hay separación entre las paredes de las juntas. Roca resistente en las paredes de las Juntas.
- ❖ Superficies ligeramente o suave rugosas. Separación menor de 1 mm. Roca resistente en las paredes de las Juntas.
- ❖ Superficies ligeramente o suave rugosas. Separación menor de 1 mm. Roca alterada y/o blanda en las paredes de las Juntas.
- ❖ Superficies deslizadas o relleno con espesor menor de 5 mm o Juntas abiertas 1 a 5 mm.
- ❖ Relleno con espesor mayor de 5 mm o Juntas abiertas más de 5 mm.

## D. Condiciones de la Napa

- ❖ Completamente seco
- ❖ Húmedo o Semi Seco

- ❖ Mediana presión
- ❖ Alta presión

### **E. Grado de Alteración**

Este parámetro, no integrado en la clasificación de Bienawsky, se contempla en los cortes de sondeos.

### **F. Bastante Meteorizadas**

- ❖ La meteorización se extiende a través de toda la masa rocosa pero conserva suficiente resistencia para no ser desmenuzable con la mano.
- ❖ Menos de la mitad de la roca esta desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo. Se presentan zonas de roca sana o ligeramente decolorada, bien formando un marco continuo o bien como bloques o núcleos sanos.

### **G. Muy Meteorizadas**

- ❖ La meteorización se extiende a través de toda la masa rocosa, se desmenuza a mano.
- ❖ Más de la mitad de la roca esta desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo.
- ❖ Pueden presentarse zonas de roca sana o ligeramente decolorada formando bloques o núcleos sanos.

### **H. Completamente Meteorizada**

Toda la masa de roca esta desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original.

### **I. Suelo Residual**

- ❖ Suelo donde no aparece la textura, ni la estructura, ni la mineralogía de la roca original. El suelo no ha sido transportado en modo significativo.

- ❖ Roca no Alterada o Fresca, Roca poco alterada, Roca Moderadamente alterada, Roca muy alterada, Roca completamente alterada, Suelo Residual.

**Tabla 3:** General de clasificación geomecánica de Bieniawski

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	>10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	>250MPa	100-250MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		>2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	<6 cm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rigurosidad	Muy rigurosa	Rigurosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Valor	6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor	15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawski, 1989



**Tabla 4:** Calidad de macizo rocoso con relación al índice RMR propuesta por Bieniawski

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 – 81	> 4 Kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80 – 61	3 – 4 Kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60 – 41	2 – 3 Kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40 – 21	1 – 2 Kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

Fuente: Bieniawski, 1989

### 2.23. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Durante la ejecución de los trabajos de perforación diamantina se han realizado pruebas de permeabilidad por tramos habiéndose cubierto toda la profundidad de perforación alcanzada, tal como se puede observar en las correspondientes hojas de cálculo de todas las perforaciones realizadas.

Se han realizado siete perforaciones diamantinas, de las cuales tres se han efectuado en el eje de la presa: (una en cada estribo y una en el cauce del río). Así mismo se han efectuado perforaciones una en el eje del túnel de descarga y otra en el eje del Aliviadero. El tipo de prueba de permeabilidad en cada caso particular depende de numerosos factores, tales como tipo de material, localización del nivel freático y homogeneidad o heterogeneidad de los distintos estratos del suelo, en cuanto a permeabilidad se refiere.

**Tabla 5:** Valores relativos de permeabilidad.

UNIDAD (cm/seg)	DESCRIPCIÓN
$10^{-5}$	Impermeable
$10^{-4}$	Semipermeable
$10^{-3}$	Permeable
$10^{-2}$	Muy permeable
$10^{-1}$	Alta permeabilidad

Fuente: Terzaghi, 1980

Los ensayos de permeabilidad se realizaron durante la perforación diamantina estos ensayos nos permiten determinar in situ la permeabilidad del suelo y de la roca mediante los ensayos de permeabilidad tipo Le-franc en los depósitos aluviales y tipo Lugeón en los tramos rocosos.

### 2.23.1. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LE-FRANC

El procedimiento para la ejecución del ensayo tipo Lefranc es como sigue: Una vez determinada la profundidad deseada, debemos limpiar el pozo por un periodo aproximado de 10 minutos, se conecta la manguera de 1" de la bomba de agua de la perforadora a la botella rompe presiones y se arma una T con los nipples y las válvulas de paso se conecta el caudalímetro a una de las entradas de la llave, otra manguera a otra válvula de paso para retorno de agua, se conecta una manguera al caudalímetro la cual va a la tubería de menor diámetro en el taladro y posteriormente se mide el nivel de agua presente en el pozo.

El ensayo carga constante consiste en medir el caudal de agua que ingresa en un determinado tiempo podemos considerar cada minuto ( $T=1$  min) hasta los 10 o 15 minutos, hay que tener presente que debemos mantener (en lo posible) un nivel

constante, esto debe ser controlado desde la boca del revestimiento y/o de la tubería de perforación.

El ensayo Carga Variable consiste en medir el nivel del agua en estado de descenso, es decir: vamos a llenar con agua hasta el ras de la tubería (sea revestimiento o tubería de perforación) y una vez que alcanzamos ello tenemos que controlar el descenso sincronizado con el cronometro (dando tiempos  $T=1$ ,  $T=2$ ,  $T=5$ ,  $T=10$ ,  $T=20$ ,  $T=30$ ,  $T=60$  y  $T=90$ ), medido en minutos. Debemos medir el descenso con una sonda de medición de nivel de agua.

### **2.23.2. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN**

Las pruebas de absorción tipo Lugeón permiten evaluar un tramo del macizo rocoso sometido a presiones de agua y, con ello, su permeabilidad frente a percolaciones a través de sus fisuras. El procedimiento consiste en inyectar agua a un tramo de perforación, con diferentes niveles o estadios de presión, de manera ascendente y descendente; son necesarios por lo menos tres estadios de presión: máxima, intermedia y mínima.

Originalmente la presión máxima empleada era de  $10 \text{ kg/cm}^2$ . En la actualidad se recomienda someter al macizo rocoso a presiones de prueba máximas que estén por debajo de la carga litostática que soporta el tramo de ensayo, para evitar la disturbancia del macizo. Las cargas litostáticas pueden estimarse con un  $p.e = 2.5$  para roca sana, fresca, y  $1.5$  para roca alterada. La presión intermedia será la mitad de la presión máxima, y la mínima  $0.1 \text{ kg/cm}^2$ . Las presiones se consiguen mediante el bombeo de agua a tramos de ensayos relativamente cortos que están confinados por un obturador o "Packer". Con la finalidad de estabilizar las lecturas en el manómetro, e impedir que el campo de variación de las oscilaciones sea mayores que el 10% del valor a ser leído, se emplean "botellas de estabilización".

## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Siendo una investigación en la cual se conjuga la búsqueda de información por fuentes teóricas y a la vez la toma de datos en campo, se define entonces el método cuantitativo, además de ser descriptivo.

Las técnicas de investigación que se utilizó en esta investigación son: trabajos realizados en gabinete, campo y laboratorio, a continuación se detalla:.

##### 3.1.1. ETAPA DE GABINETE I

La metodología a aplicar para ejecutar el proyecto de investigación es la revisión bibliográfica relacionada al tema de investigación como; estratigrafía, geomorfología, estructural, geodinámica externa, etc., tomando como referencia principal el cuadrángulo 30t del boletín de la INGEMMET.

Revisión de planos topográficos, relacionado con el estudio geológico y geotécnico como son:

- ❖ Información geológica y geotécnica, para el estudio del proyecto.
- ❖ Planos existentes de la zona de investigación, regional y local.
- ❖ Preparación equipos de campo (martillo de geólogo, GPS, brújula y wincha).

Se verificaron y analizaron imágenes satelitales de la zona de evaluación, descartando así agentes externos que pueden afectar durante y después de la construcción de la presa.

### **3.1.2. ETAPA DE CAMPO I**

Es la etapa de inspección y visita técnica al área de estudio del proyecto Presa Huayllumayo, con la finalidad de realizar un conocimiento global de las áreas de influencia según el plano existente tomando en consideración las medidas de seguridad antes y después de cada jornada con equipos de protección personal (EPP).

### **3.1.3. ETAPA DE CAMPO II**

La fase de las investigaciones de campo es como se muestra a continuación:

- ❖ El levantamiento topográfico.
- ❖ El recorrido de campo a lo largo del eje de la presa en las zonas de interés, para la ubicación de prospecciones geoelectricas, ubicaciones de calicatas y el muestreo de suelos.
- ❖ Mapeos geológicos, geomorfológicos estructural y geotécnico.
- ❖ Mapeo geológico superficial del afloramiento de las unidades litológicas en el emplazamiento de la presa.
- ❖ Toma de muestras de las calicatas preparadas y se enviará las muestras al laboratorio para los ensayos respectivos.
- ❖ Identificación de las capas mediante las caracterizaciones de los estratos de sedimentos por prospección geofísica.
- ❖ Muestreo de canteras en el área de estudio.

### 3.1.3.1. Mapeo Geológico

Mediante un recorrido de la zona de desplante y alrededores, se identificó las unidades lito estratigráficas, unidades geomorfológicas y agentes geodinámicas que puedan afectar al proyecto.

La evaluación geológica local, plantea el reconocimiento de las unidades lito estratigráficas, como las características físicas, geomorfológicas y estructurales.

### 3.1.3.2. Prospección Geofísica

El procedimiento de campo está dado por los siguientes procesos, y es el mismo para los métodos aplicados:

#### ❖ Reconocimiento de la Zona de Estudio.

Consiste en hacer un análisis visual de las características del terreno, evaluando la accesibilidad y los riesgos/peligros que puedan suscitarse.

El resultado de este proceso es mejorar y hasta replantear la ubicación y dirección de las líneas planteadas en el proyecto, sin causar alguna variación en los objetivos trazados.

#### ❖ Instalación de Equipos y Cables.

Este proceso permite ubicar el equipo adecuado, según el número de tendidos previamente planificado. Asimismo, se procede a instalar los cables y los equipos de medición (geófonos de 14 Hz para la refracción) en campo.

Cabe señalar que los puntos de adquisición podrán modificarse conforme se adquiere los datos con la intención de mejorar la adquisición y lograr la mejor adquisición de datos.

Mientras que para el Down Hole, se instala el geófono triaxial dentro de la perforación y se ubica en el fondo del pozo para el inicio de toma de datos.

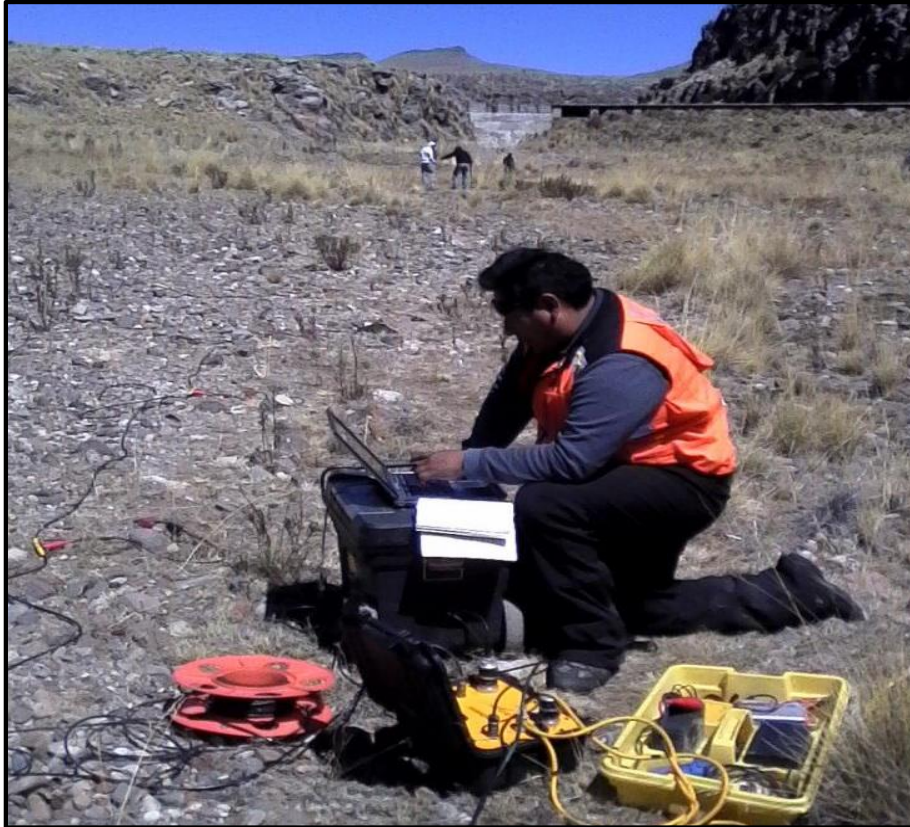


**Foto 1:** Líneas Sísmicas Instaladas

❖ **Toma de Datos.**

El operador del equipo (sismógrafo), geofísico de campo, define y califica los datos conforme se van adquiriendo, indicando repeticiones o cambio de fuentes de energía o posición del equipo, según sea conveniente o necesario para el levantamiento sobre superficie.





**Foto 2:** Toma de datos

#### ❖ Finalización de Toma de Datos

En este proceso, culminada todo los shots (refracción), el operador del equipo (Sismógrafo), comunica al personal el recojo de todo los equipos para la movilización a otro punto.

Cabe señalar que al finalizar el levantamiento el responsable de grupo verifica y visualiza la zona de trabajo con la intención de cerciorarse si todo el equipo fue recogido y si no ay restos contaminantes.

Caso se presentará, el personal tiene la obligación y responsabilidad ambiental de mitigar el efecto.



**Tabla 6:** Ubicación Líneas de Refracción Sísmica

LÍN.	PTO/G EOF.	COORDENAD.		DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORT.	
1	INICIO	236008	8349260	Deposito residual, medianamente húmedo con vegetación, situado al pie de la alera, al margen derecho de la represa aguas abajo.
	8	236014	8349225	
	MEDIO	236017	8349205	
	17	236024	8349182	Extensión de 120mts con espaciamiento de 5 mts.
	FINAL	236034	8349148	
2	INICIO	236026	8349255	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado en ladera.
	7	236030	8349235	
	MEDIO	236034	8349211	Geófonos 14 – 24 en roca (tufo volcánico).
	17	236037	8349187	Extensión de 120 mts con espaciamiento de 5 mts.
	FINAL	236044	8349153	
3	INICIO	236051	8349302	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado en ladera.
	8	236057	8349266	
	MEDIO	236060	8349246	
	17	236065	8349223	Extensión de 120mts. Con espaciamiento de 5 mts.
	FINAL	236073	8349189	
4	INICIO	236047	8349414	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado en ladera. Continuación de la línea 3.
	8	236049	8349380	
	MEDIO	236047	8349361	
	17	236051	8349335	Extensión de 120mts. Con espaciamiento de 5 mts.
	FINAL	236051	8349302	
5	INICIO	236013	8349382	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado en ladera. Entre los geófonos 17 – 19 torre de alta tensión, continuación de la línea 2.
	8	236015	8349347	
	MEDIO	236018	8349327	
	17	236021	8349302	
	FINAL	236028	8349268	Extensión de 120mts. Con espaciamiento de 5 mts.
6	INICIO	235985	8349377	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado al pie de la ladera, al margen derecho de la represa aguas abajo. Continuación de la línea 1.
	8	235993	8349341	
	MEDIO	235996	8349320	
	17	236002	8349295	
	FINAL	236008	8349260	Extensión de 120mts. Con espaciamiento de 5 mts.
7	INICIO	235971	8349491	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado al pie de la ladera, al margen derecho de la represa aguas abajo. Continuación de la línea 6.
	8	235975	8349457	
	MEDIO	235977	8349437	

	17	235981	8349412	
	FINAL	235985	8349377	Extensión de 120mts. Con espaciamiento de 5 mts.
8	INICIO	235988	8349493	
	8	235996	8349458	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado en ladera. Continuación de la línea 5.
	MEDIO	236000	8349439	
	17	236004	8349415	Extensión de 120mts. Con espaciamiento de 5 mts
	FINAL	236013	8349382	
9	INICIO	235928	8349550	La línea se extendió hasta los 60 mts con espaciamiento de 5 mts.
	4	235937	8349541	Relleno antrópico, geófono 1 está a-1.5 del nivel, cerca del cauce.
	9	235951	8349518	Geófonos 12 está cerca de una caída de agua.
	FINAL	235961	8349511	
10	INICIO	235971	8349603	
	8	235993	8349627	Ubicado en depósito coluvial, margen izquierdo aguas debajo de baja humedad con vegetación de la zona.
	MEDIO	236006	8349644	
	17	236016	8349665	Extensión de 120 mts con espaciamiento de 5 mts.
	FINAL	236033	8349695	
11	INICIO	235988	8349648	Del geófono 1 – 8 se encuentra en ladera (material coluvial), y del geófono 9 – 12 en material aluvial (terracea).
	4	236000	8349648	
	9	236019	8349648	La línea se extendió hasta los 60 mts con espaciamiento de 5 mts.
	FINAL	236034	8349649	
12	INICIO	236052	8349638	Depósito aluvial, entre los geófonos 8 – 12 hay presencia de bofedales, estos forman parte de una terraza aluvial.
	4	236068	8349635	
	9	236093	8349632	Geófono 11 y 12 pasan un riachuelo, Alineado a la línea 11.
	FINAL	236107	8349631	La línea se extendió hasta los 60 mts con espaciamiento de 5 mts.
13	INICIO	236053	8349602	
	8	236027	8349576	Depósito aluvial con bofedales; del geófono 2 – 4 saturado y del 15 – 24 es zona húmeda saturada con bastante vegetación.
	MEDIO	236012	8349564	
	17	235991	8349550	
	FINAL	235962	8349602	
14	INICIO	236122	8349690	
	8	236105	8349660	Depósito aluvial, del geófono 1–18 en zona parcialmente húmeda
	MEDIO	236094	8349644	Del geófono 19 – 24 zona húmeda con vegetación.
	17	236078	8349624	
	FINAL	236054	8349601	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7:** Ubicación Líneas sísmicas MASW

LÍN.	PTO/G EOF.	COORDENAD.		DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORT.	
1	INICIO	236011	8349239	
	8	236015	8349218	Depósito Residual, medianamente húmedo con vegetación, situado al pies de la ladera, a la margen derecha de la represa aguas abajo. Con una extensión de 72mts (3mts de espaciamiento)
	MEDIO	236017	8349206	
	17	236020	8349192	
	FINAL	236029	8349172	
2	INICIO	235941	8349554	Depósito aluvial con bofedal, ubicado en paralelo al eje de represa actual. Geófono 1 al costado del cauce, geófono 13 cerca de una filtración, y los geófonos 22 – 24 en bófedal, este último cerca de un estanque natural de agua. Una extensión de 48 mts a cada 2 mts como espaciamiento.
	8	235948	8349542	
	MEDIO	235953	8349538	
	17	235959	8349531	
	FINAL	235969	8349520	
3	INICIO	236038	8349585	Depósito aluvial con bofedales. Geófonos 1 – 13 y 17 – 24 se encuentran en zona saturada con vegetación.
	8	236021	8349571	
	MEDIO	236011	8349564	
	17	236000	8349559	
	FINAL	235991	8349543	
4	INICIO	236111	8349669	Depósito aluvial parcialmente húmedo. Los geófonos 9 – 11 y 23 - 24 húmedo con vegetación.
	8	236087	8349650	
	MEDIO	236091	8349643	
	18	236081	8349629	
	FINAL	236070	8349615	

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.3.3. Excavación a Cielo Abierto

Se ejecutaron para la zona del eje de la presa un total de un (01) calicata y una (01) trinchera calicata, así como un (01) ensayo de penetración dinámica ligera.

Para la zona del vaso de la presa se ejecutaron un total de seis (06) calicatas y tres (03) trincheras calicatas, así como ocho (08) ensayos de penetración dinámica.

**Tabla 8:** Resumen de las Calicatas Realizadas

CALICATA N°	PROF. (m.)	N.F. (m)	UBICACIÓN
C-1	1.20	0.80	Eje de la presa
C-2	1.20	--	Eje de la presa
TR-1	3.00	--	Eje de la presa
C-1	1.50	--	Vaso de presa
C-2	1.50	--	Vaso de presa
C-3	1.00	--	Vaso de presa
C-4	1.00	--	Vaso de presa
C-5	0.80	--	Vaso de presa
C-6	1.50	--	Vaso de presa
C-7	1.50	--	Vaso de presa
C-8	1.80	--	Vaso de presa
C-9	1.60	--	Vaso de presa
TR-1	0.50	--	Vaso de presa
TR-2	3.50	--	Vaso de presa
TR-3	3.00	--	Vaso de presa

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.1.3.4. Ensayo de Permeabilidad in situ

Para determinar el grado de permeabilidad de los materiales presentes en la zona de estudio se ha realizado el ensayo in-situ de permeabilidad, en las zonas de ubicación de las obras de saneamiento, de los datos registrados y evaluados se determina la permeabilidad del suelo de fundación en la zona del proyecto, así se tiene que en la zona de la presa de Huayllumayo se efectuaron cuatro (04) ensayos de permeabilidad in situ a cada entrada de la zona del vaso. Estos puntos de medición dieron por resultados valores de  $k$  de  $3.80E-03$  cm/seg (en la zona de la calicata C-

9),  $5.80E-03$  cm/seg en la zona de la margen derecha. En la zona de la margen izquierda las pruebas de permeabilidad son de  $1.57E-02$  cm/seg (en la zona de la calicata C-1).

Este ensayo se ha realizado siguiendo los procedimientos de campo siguiendo el método de Hvorslev.

#### **3.1.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MECÁNICA**

Los análisis de laboratorio de geomecánica, para la ampliación de la Presa Huayllumayo de la provincia de Espinar, departamento de Cusco; serán realizados por la Municipalidad de Espinar, en base a la norma existente.

- ❖ Realización de ensayos para la determinación de propiedades de los geomateriales componentes en la Presa Huayllumayo.
- ❖ Ensayos de muestras en Laboratorio de Mecánica de Suelos.
  - Granulometrías
  - Límites Líquidos
  - Límites Plásticos
  - Clasificación SUCS
  - Resistencia al intemperismo del agregado grueso y fino
  - Peso específico aparente de la roca de revestimiento.
  - Peso específico saturado superficie seca del a agregado fino
  - Ensayo triaxial
  - Ensayos de Compresión Simple a rocas
  - Ensayos Químicos a Suelos.
- ❖ Ensayos de muestras en Laboratorio de Mecánica de Rocas
  - Ensayos de Compresión Simple a rocas
  - Ensayos de Constantes Elásticas

### **3.1.5. ETAPA DE GABINETE II**

#### **3.1.5.1. Elaboración de Planos**

Los planos correspondientes a esta investigación, se realizaron con la ayuda de software especializados para ingeniería; como el ArcGIS 10.3, AutoCAD Civil 3D 2017 y AutoCAD 2017.

Los datos obtenidos de campo, de ubicación, litológico, geomorfológico, etc., se insertaron y procesados en los software antes mencionados.

#### **3.1.5.2. Interpretación de resultados**

- ❖ Procesamiento e interpretación de los resultados de los datos de campo.
- ❖ Con la información existente de campo y resultados obtenidos de los ensayos de mecánica de suelos y rocas, y en cooperación con los registros de trabajos desarrollados, durante el proceso de investigación se realizarán los análisis de resultados y parámetros de cálculo de diseño. Para la ejecución de la Presa Huayllumayo.
- ❖ Elaboración de planos, cuadros y gráficos.

### **3.2. INSTRUMENTOS Y MATERIALES**

En el presente estudio de investigación en el emplazamiento de la Presa Huayllumayo se han utilizado los siguientes equipos e instrumentos.

#### **3.2.1. ETAPA DE GABINETE I**

- ❖ Computadora
- ❖ Planos
- ❖ Lápiz
- ❖ Bolígrafo
- ❖ Hojas de apuntes
- ❖ Martillo De Geólogo

- ❖ GPS
- ❖ Brújula
- ❖ Wincha

### 3.2.2. ETAPA DE CAMPO I

- ❖ Martillo de geólogo.
- ❖ Brújula brunton.
- ❖ Wincha (flexometro).
- ❖ Llupa de geólogo.
- ❖ GPS (sistema de posicionamiento global).
- ❖ Hoja de apuntes

### 3.2.3. ETAPA DE CAMPO II

- ❖ Estación total (para el levantamiento topográfico).
- ❖ Un GPS diferencial R 8 TRIMBLE.
- ❖ Equipos de sondaje eléctrico vertical (SEV).
- ❖ Equipos de refracción sísmica (RS).
- ❖ 01 Sismógrafo Digital de 24 canales; Marca Seistronix USA y Modelo RAS-24.
- ❖ Interface: software de adquisición – Notebook.
- ❖ Fuente de energía: mecánica-martillo, Comba de 20 libras.
- ❖ 02 cables sísmicos de 12 canales con espaciamiento de 10 metros entre geófonos.
- ❖ 24 Geófonos de 14 Hz y 4.5 Hz.
- ❖ Software de procesamiento seisimager.
- ❖ Máxima extensión de línea: 120 m
- ❖ Cable poder de 12 V.
- ❖ Cable interface sismógrafo a laptop (toshiba).
- ❖ Placa metálica de 20x20 cm.
- ❖ 2 Baterías de 12 Voltios.
- ❖ 250 metros de cable mellizo.

- ❖ 01 caja de herramientas.
- ❖ 03 radios Motorola de comunicación.
- ❖ Equipo de protección personal (guantes, chaleco, casco y zapatos de protección).



**Foto 3:** Equipos de Refracción Sísmica

### 3.2.4. ETAPA DE GABINETE II

#### 3.2.4.1. *Materiales*

- ❖ Computadora
- ❖ Planos
- ❖ Lápiz
- ❖ Bolígrafo
- ❖ Hojas de apuntes
- ❖ Martillo De Geólogo
- ❖ GPS
- ❖ Brújula
- ❖ Wincha



#### **3.2.4.2. Software**

- ❖ Programa River
- ❖ Programa de cómputo SLIDE (Rocscience Inc, 1989-2003) versión 5
- ❖ Programa de computo RISK
- ❖ Programa de computo EQRISK
- ❖ Software LocClim ver. 1.0
- ❖ ArGis 10.4.1
- ❖ Software DIP

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### 4.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento del Cusco, Provincia de Espinar, distrito de Coporaque.

Se ha realizado prospecciones directas en el área de la presa para la interpretación adecuada del comportamiento geológico y geotécnico de los suelos y del macizo rocoso.

El proyecto se encuentra ubicado en:

Región	:	Cusco
Provincia	:	Espinar
Distrito	:	Espinar
Micro Cuenca	:	Huayllumayo
Coordenada Central de la zona de Trabajo	:	L 235925, E 8349519

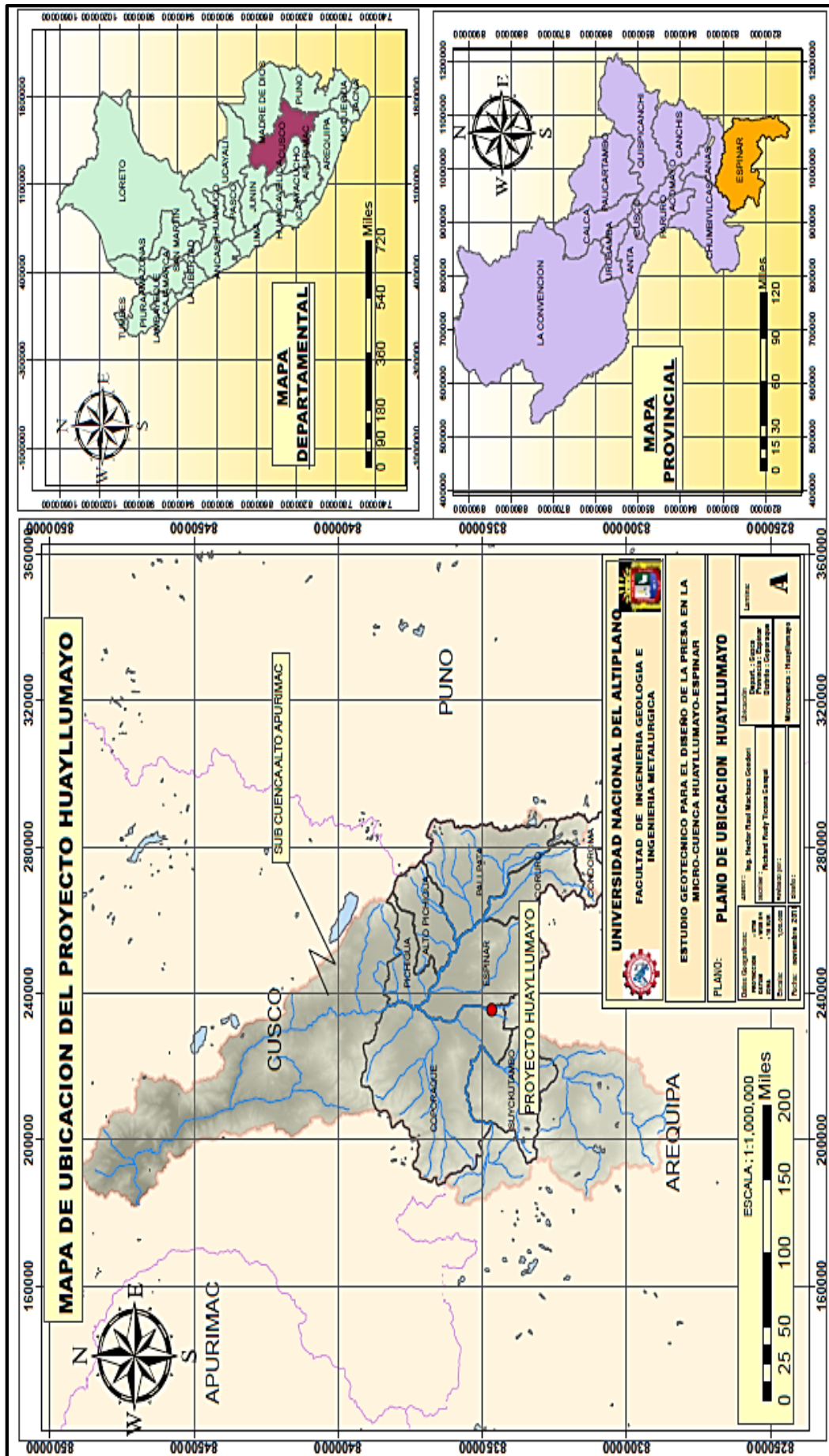


Figura 1: Ubicación de la Presa Huayllumayo (Elaboración Propia)

Se han establecido puntos de control en el área de la presa prevista, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 9:** Ubicación del Proyecto

Laguna	Este	Norte	Elevación
Huayllumayo	240357.51	8363548.20	3919 m
	235915.69	8349533.90	4037 m

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2. VÍAS DE ACCESO

El acceso a la zona del proyecto desde la ciudad del Cusco se efectúa por la carretera asfaltada Cusco - Espinar, llegando hasta al Distrito de Espinar y luego al ámbito del proyecto. La distancia total es de 262 km, tal como se detalla en el cuadro siguiente:

**Tabla 10:** Vías de acceso al Proyecto

Tramo de carretera	Dist. (km)	Tiempo (min)	Tipo de vía	Estado
Cusco – Sicuani	134	120	Asfaltada	Bueno
Sicuani – Espinar	98	110	Asfaltada	Bueno
Espinar – Huayllumayo	30	45	Afirmada	Regular

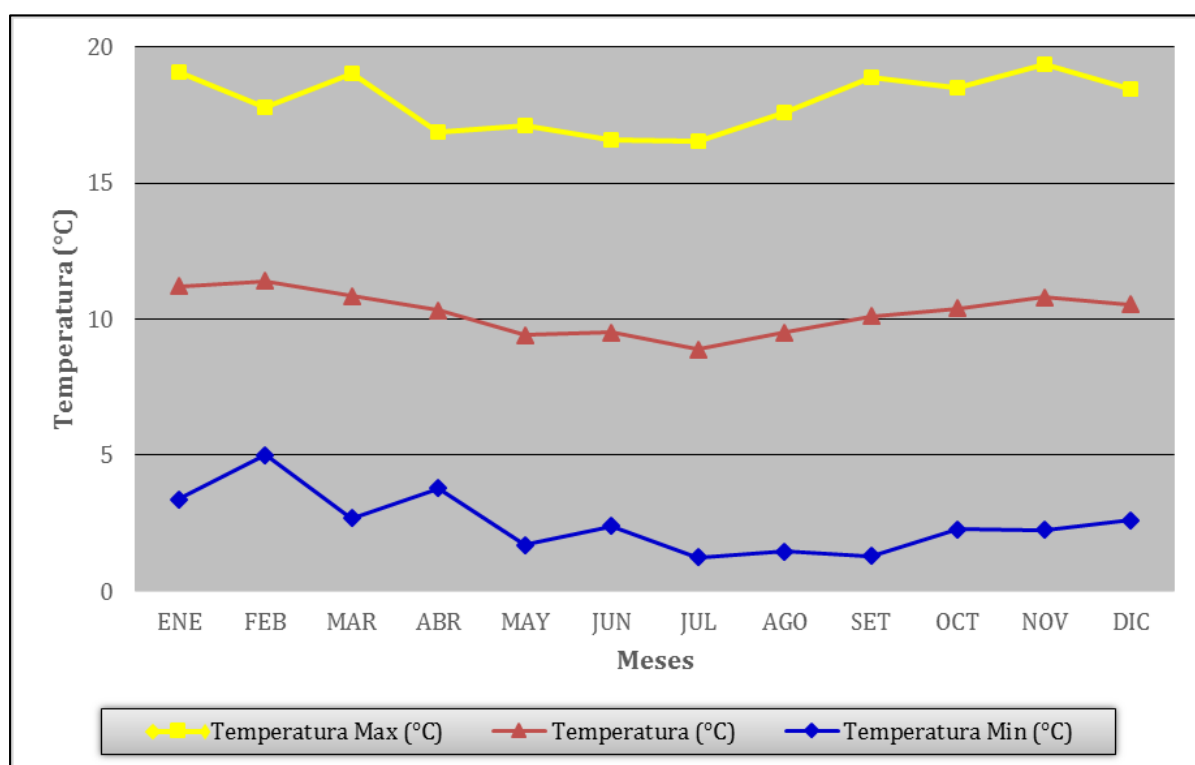
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.3. CLIMA

El clima en la zona está definido de acuerdo a las estaciones del año, que definen la época húmeda (avenidas) y seca (estiaje). La época de avenidas donde se producen las mayores precipitaciones y mayores tasas de escorrentía en la zona, se producen de diciembre a marzo, siendo los meses de octubre, noviembre y abril

meses de transición. La época de estiaje corresponde al resto del año, esto es, entre los meses de mayo a setiembre. La precipitación media anual en la cuenca alcanza los 816 mm.

La temperatura máxima media mensual registrada en la estación Yauri oscila entre 16.53°C y 19.36° C, valores que corresponden a los meses de julio y noviembre respectivamente, la temperatura mínima media mensual se encuentra entre 1.25°C y 5.02°C para los meses de Julio y Febrero. El gráfico 1 muestra la variación mensual de la temperatura máxima y mínima a lo largo del año.



**Gráfico 1:** Variación Mensual de la Temperatura (SENAMHI)

#### 4.1.4. HIDROLOGÍA

Se consultó al SENAMHI los datos básicos hidrológicos, tomando en consideración la información existente y métodos adecuados de análisis y tratamiento de la información, así como modelos adecuados de generación de caudales.

En las áreas de montaña, los Cs° Choncacata, Huilcane, Chuncucuta y otros donde se identifican los nacimientos de los ríos y fuentes hídricas que discurren hacia la presa Huayllumayo, configuran una red de drenaje con una disposición dendriforme; los ríos que aportan más caudal durante épocas de precipitaciones son el río Sanimayo-Chaupimayo –Palcanta, que a su vez es alimentado por aguas que discurren de quebradas menores, y el río Antaccara - Chuchana que está formado por la confluencia del río Llutamayo y la Q° Juluhuaijo, así como otras quebradas pequeñas que conforman toda la red que desemboca hasta por tres puntos hacia la zona de embalse, los regímenes de caudales varían según las estaciones.

#### **4.1.4.1. Precipitación Pluvial**

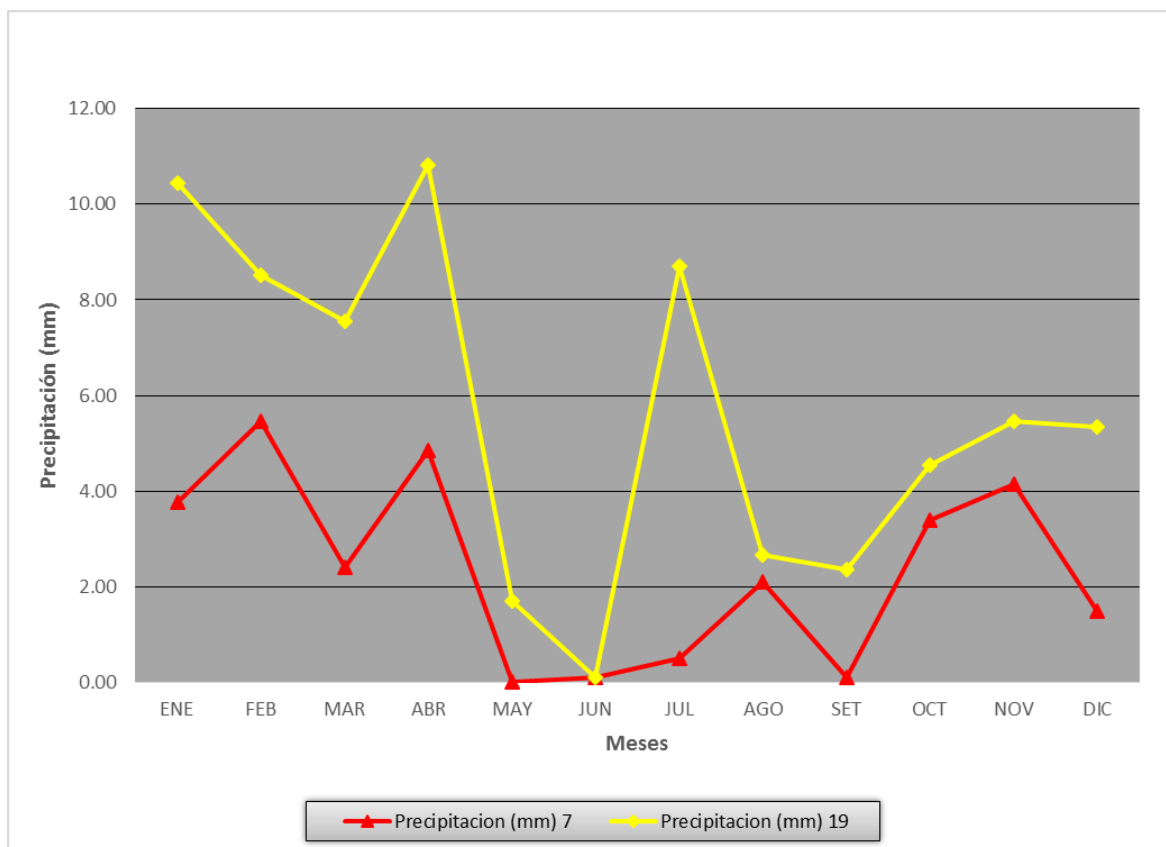
La precipitación promedio total anual registrada en la estación Yauri llega a los 644.7 mm. el régimen de lluvias a lo largo del año presenta un período lluvioso de octubre a abril con un decaimiento leve en mayo y junio, y otro de escasa precipitación, entre los meses de setiembre a diciembre que alcanza sus niveles más bajos en setiembre, donde se registran valores inferiores a 8.20 mm/mes, (Ver Gráfico N° 02) y (Tabla N° 11).

En la Tabla N° 11 presenta los resultados de análisis estadísticos realizados con los registros históricos de la precipitación mensual media en la estación Yauri.

**Tabla 11:** Distribución media mensual de la precipitación del Rio Huayllumayo en el eje de la Presa, Estación Yauri

	Año Promedio											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura Max (°C)	19.07	17.79	19.04	16.88	17.13	16.61	16.53	17.58	18.91	18.51	19.36	18.47
Temperatura (°C)	11.22	11.41	10.86	10.33	9.41	9.50	8.89	9.53	10.11	10.39	10.80	10.54
Temperatura Min (°C)	3.38	5.02	2.68	3.79	1.70	2.40	1.25	1.47	1.30	2.28	2.25	2.61
Temperatura Bulbo Seco (°C)	7	6.51	6.04	5.52	1.80	3.50	2.35	2.56	2.38	4.77	4.71	6.21
	13	17.33	15.76	17.72	15.36	16.08	15.35	16.38	17.58	16.43	18.02	16.86
	19	9.73	9.35	9.63	7.92	6.97	4.98	7.14	9.11	8.32	8.52	7.69
Temperatura Bulbo Húmedo (°C)	7	4.80	6.05	4.86	4.68	1.78	2.05	1.86	1.48	3.31	3.56	4.60
	13	9.72	9.69	9.65	7.90	6.48	5.86	6.26	7.36	7.51	7.58	8.03
Precipitación (mm)	19	6.32	7.11	6.46	4.92	3.35	1.44	3.21	3.88	4.62	3.81	5.13
	7	3.78	5.47	2.41	4.84	0.00	0.10	2.10	0.10	3.40	4.15	1.49
Dirección del Viento 13h	19	6.68	3.05	5.14	5.99	1.70	0.00	0.55	2.25	1.14	1.30	3.85
	C	C	C	C	C	C	C	C	0.00	C	0.00	C
Velocidad del Viento 13h (m/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73	4.00	3.61	0.00	3.53	0.00	4.17

Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 2:** Variación Mensual de Precipitación (SENAMHI)

#### 4.1.4.2. Velocidad del viento

Las velocidades del viento se presenta entre los meses de junio a octubre, teniendo un promedio más bajo en el mes de setiembre, y la velocidad máxima en el mes de julio agosto, teniendo como promedio más alto registrado en el mes de julio 4.00 m/s. (Ver Tabla 11).

#### 4.1.4.3. La cuenca del rio Huayllumayo

La superficie de la cuenca delimitada por el divisor topográfico en Km<sup>2</sup>, corresponde a la superficie de la misma proyectada en un plano horizontal; y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos fluviales y sobre la amplitud de las fluctuaciones; para la subcuenca del rio Huayllumayo es de 152.08 Km<sup>2</sup>.



**Tabla 12:** Parámetros de Forma de la Presa Huayllumayo

SUB CUENCA	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	PERÍMETRO[Km]	LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL [Km]	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA
Presa Huayllumayo	152.08	132.71	13.64	1.78	0.16

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4.4. Escorrentía y Dinámica Fluvial

El agua de escorrentía en la zona crea sistemas de desagüe o de drenaje, los aspectos geomorfológicos de la zona representan geformas con taludes llanos, en algunos casos moderados y ocasionales taludes abruptos, estas disposiciones de relieves permiten que las aguas de lluvias se desplazan a manera de delgadas películas o mantos de agua y discurren desordenadamente, en otros casos, de acuerdo a las geformas del terreno discurren a maneras de flujos por medio de cauces definidos.

Este escurrimiento superficial que se genera a lo largo del cauce del río Huayllumayo, constituye el agente hidráulico y geomorfológico más importante, que propicia la actividad fluvial, sobre todo en la época de lluvias, originando la presencia de ríos y arroyos permanentes o temporales, los que generan la erosión hídrica que actúa a través del tiempo y del espacio, modificando el paisaje y pudiendo ser de varios tipos: laminar, en surcos, cárcavas, barrancas o cañadas, estos procesos forman valles y cañones a través de los años.

La escorrentía media mensual en el caso del río Huayllumayo, según estudios hidrológicos, tiene un valor máximo de 3,41 m<sup>3</sup>/s en el mes de febrero, con un derrame medio anual de 31,9 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado según análisis de máximas avenidas, el caudal correspondiente para diferentes períodos de retorno es:

**Tabla 13:** Caudal para diferentes períodos de retorno

<b>Periodo de Retorno (Años)</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia (%)</b>	<b>Intensidad Maxima (mm/h)</b>	<b>Caudal Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>1</b>	28.57	1.76	17.97
<b>2</b>	50.00	1.95	19.99
<b>5</b>	80.00	2.33	23.86
<b>10</b>	90.00	2.58	26.42
<b>20</b>	95.00	2.82	28.88
<b>25</b>	96.00	2.90	29.66
<b>50</b>	98.00	3.13	32.06
<b>100</b>	99.00	2.37	34.45
<b>200</b>	99.50	3.60	36.83
<b>500</b>	99.80	3.91	39.96
<b>1000</b>	99.90	4.14	42.33

Fuente: Elaboración Propia

Podemos inferir que los caudales producidos han ido generando un desequilibrio en la estructura del lecho fluvial a lo largo de todo el río hasta la presa, con una tendencia desfavorable, de erosionar hasta llegar a un ancho o lecho más estable, el cual se ha determinado en más de 20 m. También podemos afirmar que este desequilibrio estaría ligado no solo a los caudales máximos sino a su variación en el tiempo, lo que se traduce en caudales instantáneos que tienen un tiempo de concentración diferente al establecido en forma natural a nivel de toda la microcuenca. Estos intervalos de tiempo corto o menores generan velocidades altas en la corriente, una fuerza tractiva alta y por tanto gran capacidad erosiva y de transporte, originando una erosión generalizada y erosiones locales en determinadas zonas o puntos del cauce del río.

#### 4.1.4.5. Ancho Estable del Río

En el tramo evaluado se ha podido establecer un ancho estable del río en función del tipo de material del lecho y bordes del río, los caudales regulados y la pendiente del río. Este ancho varía en función al caudal que se conduce, por lo que consideramos que para el máximo caudal de avenida para un  $Tr = 1000$  años (42,33 m<sup>3</sup>/s) el ancho estable aguas arriba de la presa sería de 28 m. en promedio considerando varias metodologías. En algunos tramos el río ha erosionado hasta alcanzar este ancho, sin embargo en algunos tramos el ancho del río es menor, por lo que podemos afirmar que la tendencia a erosionar del río será hasta alcanzar dicho ancho.

Con el empleo del programa River, se estimó el ancho estable del cauce del río.

El programa considera 5 métodos: (1) Recomendación Práctica, (2) Método de Petits, (3) Método de Simons y Henderson, (4) Método de Blench y Altunin y (5) Método de Manning y Strickler. Todos estos métodos son empíricos y bajo la teoría del régimen estable.

La Pendiente del río se ha calculado como el promedio de los tramos del río aguas arriba.

**Tabla 14:** Calculo de la Pendiente

N°	PROGRESIVA	ELEVACIÓN	PENDIENTE
1	0+000.00m	4075.974m	
2	0+160.00m	4073.610m	-1.48%
3	0+210.00m	4072.483m	-2.25%
4	0+290.00m	4071.081m	-1.75%
5	0+420.00m	4069.033m	-1.58%
6	0+510.00m	4067.689m	-1.49%
7	0+670.00m	4064.986m	-1.69%

8	0+810.00m	4062.000m	-2.13%
9	0+960.00m	4059.967m	-1.36%
10	1+140.00m	4056.738m	-1.79%
11	1+440.00m	4051.162m	-1.86%
12	1+750.00m	4046.332m	-1.56%
13	2+050.00m	4041.800m	-1.51%
14	2+439.07m	4034.886m	-1.78%
15	2+494.05m	4033.914m	-1.77%
16	2+505.22m	4033.000m	-8.19%
17	2+544.73m	4032.943m	-0.14%
18	2+564.19m	4032.000m	-4.85%
19	2+593.50m	4031.917m	-0.28%
20	2+670.00m	4030.000m	-2.51%
21	2.810.00m	4028.000m	-1.43%
22	2+930.00m	4026.387m	-1.34%
23	3+030.00m	4025.589m	-0.80%
24	3+064.01m	4024.959m	-1.85%
25	3+115.50m	4023.640m	-2.56%
26	3+167.21m	4022.427m	-2.53%
27	3+210.00m	4021.772m	-1.53%
28	3+256.00m	4020.296m	-3.21%
29	3+316.12m	4018.812m	-2.47%
30	3+355.55m	4018.149m	-1.68%
31	3+390.00m	4017.058m	-3.17%
32	3+430.00m	4016.282m	-1.94%
33	3+695.10m	4013.000m	-1.24%
34	3+924.10m	4011.950m	-0.46%
35	3+940.00m	4010.999m	-5.98%
36	4+110.00m	4009.907m	-0.64%
37	4+510.00m	4005.141m	-1.19%

38	4+770.00m	4002.935m	0.85%
39	4+890.00m	4001.494m	-1.20%
40	5+010.00m	3999.916m	-1.31%
41	5+180.00m	3998.000m	-1.13%
42	5+360.00m	3996.427m	-0.87%
43	5+630.00m	3992.986m	-1.27%
44	6+100.00m	3988.961m	-0.86%
45	6+492.97m	3984.000m	-1.26%
PROMEDIO			-1.88%

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 15:** Pendiente del río

	Directo		Después de la Presa		Por tramos
L=	3064.00	m	6492.97	m	
H=	50.97	m	92.00	m	
s=	1.664	%	1.417	%	1.8764
S =					1.652

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 2, se observa el trazo del ancho estable, respetando los criterios descritos. Cabe mencionar que existe un puente con largo de 21 m de ancho, por lo que nuestro cálculo está dentro de rango de diseño.



**Figura 2:** Ancho estable del río Huayllumayo (GOOGLE EARTH)

**4.1.4.6. Variables climáticas**

Las principales variables climatológicas en el ámbito del estudio se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 16:** Variables Climáticas

VAR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
T° Med	11.22	11.41	10.86	10.33	9.41	9.50	8.89	9.53	10.11	10.39	10.80	10.54	10.25
T° Máx	19.07	17.79	19.04	16.88	17.13	16.61	16.53	17.58	18.91	18.51	19.36	18.47	17.99
T° Mín	3.38	5.02	2.68	3.79	1.70	2.40	1.25	1.47	1.30	2.28	2.25	2.61	2.51
HS	10.08	9.12	9.84	13.68	16.56	19.68	18.48	17.28	14.64	14.88	14.68	11.04	14.16
VV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73	4.00	3.61	0.00	3.53	0.00	4.17	8.20
Evapor.	90.02	77.25	81.02	67.63	60.06	52.62	58.25	73.45	84.84	102.70	105.35	93.33	78.87

Fuente: Elaboración Propia

**4.1.4.7. Oferta**

La oferta de agua se presenta en la tabla siguiente:

**Tabla 17:** Caudales medios mensuales y anuales

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Q. Min.	0.870	0.851	0.404	0.210	0.101	0.079	0.062	0.060	0.067	0.120	0.129	0.297	0.499
Q. Máx.	6.080	6.586	5.123	1.896	1.402	0.281	0.239	0.214	0.553	0.616	2.596	2.945	1.639
Q. Prom.	2.916	3.410	2.371	0.809	0.236	0.107	0.075	0.090	0.138	0.235	0.513	1.394	1.024
Dev. Est.	1.265	1.269	0.975	0.342	0.182	0.041	0.026	0.040	0.079	0.122	0.568	0.692	0.228
Var	0.434	0.372	0.411	0.422	0.771	0.384	0.353	0.438	0.576	0.520	1.109	0.496	0.222
Q75	2.138	2.845	1.574	0.572	0.167	0.089	0.065	0.065	0.088	0.159	0.229	0.845	0.894
Q80	2.025	2.415	1.538	0.564	0.158	0.087	0.065	0.064	0.084	0.151	0.208	0.763	0.845
Q90	1.397	1.731	1.116	0.463	0.146	0.083	0.063	0.061	0.073	0.137	0.172	0.517	0.758
Q95	1.132	1.2918	0.822	0.3084	0.1392	0.0804	0.063	0.060	0.0698	0.122	0.147	0.4344	0.389
Vmin [MMC]	2.330	2.059	1.082	0.544	0.271	0.205	0.166	0.161	0.174	0.321	0.334	0.795	8.442
Vmax [MMC]	16.285	15.933	13.721	4.914	3.755	0.728	0.640	0.573	1.433	1.650	6.729	7.888	74.250
Vpro [MMC]	7.810	8.250	6.351	2.098	0.632	0.277	0.200	0.242	0.357	0.628	1.329	3.734	31.909
V75 [MMC]	5.726	6.883	4.216	1.483	0.447	0.231	0.174	0.174	0.228	0.426	0.594	2.263	22.844
V80 [MMC]	5.424	5.841	4.119	1.463	0.423	0.226	0.173	0.170	0.218	0.405	0.539	2.043	21.044
V90 [MMC]	3.742	4.189	2.989	1.199	0.392	0.215	0.169	0.163	0.190	0.368	0.446	1.384	15.446
V95 [MMC]	3.032	3.125	2.202	0.799	0.373	0.208	0.169	0.161	0.181	0.327	0.381	1.163	12.121

Fuente: Elaboración Propia



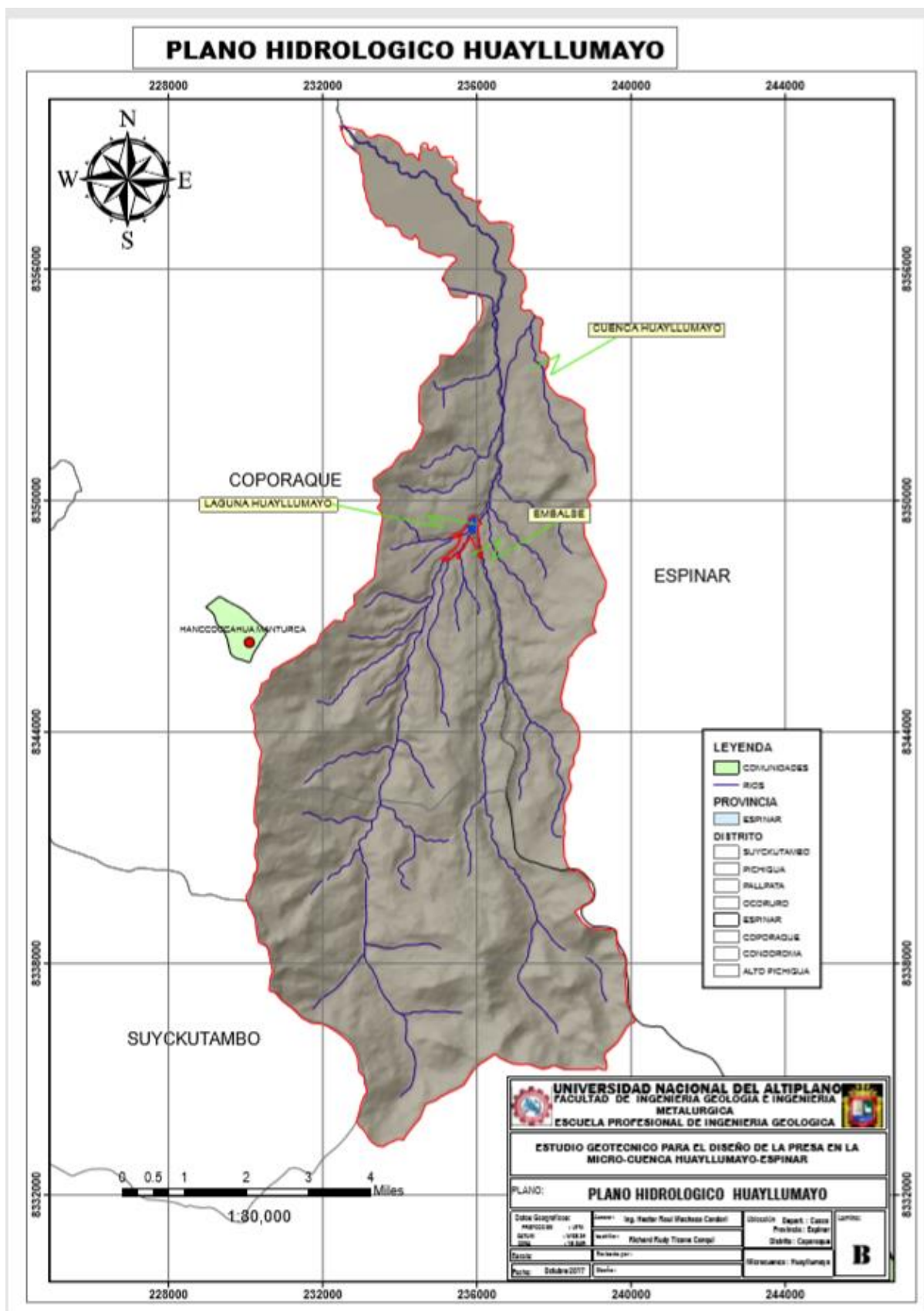


Figura 3: Plano hidrológico de Huayllumayo



#### 4.1.5. GEOMORFOLOGÍA

La provincia de Espinar, muestra relieves muy diversos, desde paisajes altiplánicos o praderas altoandinas formados por depósitos aluviales, glaciofluviales y promontorios de depósitos morrénicos de edades cuaternarias y recientes, que ocupan considerables áreas superficiales de su territorio; exhibe también colinas onduladas y geoformas de pequeños valles y cañones labrados por efecto de glaciaciones y corrientes fluviales de gran energía que se abrieron paso por las rocas volcánicas resistentes que cedieron a la erosión a través del tiempo.

Los paisajes creados dan lugar a diversos ecosistemas que caracterizan las altitudes que van en rangos desde los 3,800 hasta más de los 4,400 msnm en las áreas montañosas que circundan hacia el sur de las áreas del embalse. La zona que rodea a la presa Huayllumayo, está constituida por una formación tobácea dispuesta en grandes bloques columnares de constitutivos muy resistentes que en conjunto configura una gran hoja que en una vista de altura se distingue como si fueran nervaduras los cañones labrados por los agentes erosivos.

Los cursos de aguas que fluyen a través de los cañones, provienen de las partes altas del sector y confluyen en algunos puntos para alimentar el embalse de la presa cuyo vaso comprende el ancho del cañón mostrado en los mapas. Destaca la escarpa vertical del margen izquierdo del río que se eleva a más de 30 metros de estructura rocosa; en la margen derecha las escarpas son de poca altitud; las obras proyectadas se orientan a lograr un incremento cercano a los 15 metros de tirante de agua sobre la cota de vertido de la presa actual, para un volumen aproximado de 3 Hm<sup>3</sup>.

A continuación se describen las geoformas más importantes que se presentan en la zona de estudio:

- ❖ TERRAZAS: Los ríos principales han formado en ambos flancos, terrazas amplias y terrazas de inundación, de relieve suave a llano, ligeramente ondulado, estables, propensas únicamente a inundaciones y socavación ribereña.
- ❖ LADERAS: Los flancos de las quebradas, cerros y colinas, presentan ladera de pendiente suave, moderada a fuerte; observando que en su mayoría la erosión laminar es mínima y si existen zonas propensas a desprendimientos, derrumbes y erosión se debe al sobrepastoreo, cortes de plataforma de carretera y canales ejecutados por el hombre. En la margen izquierda se presenta taludes empinados mayores a 85°.
- ❖ COLINAS: Entre los 3950 a 4.100 m.s.n.m. se presentan colinas bajas y altas con perfiles convexos moderados a suaves, de superficie rocosa a llana, debido al comportamiento del suelo y/o roca frente a la meteorización.
- ❖ PAMPAS: Se ubican mayormente entre las colinas bajas y la geoforma denominada terraza, caracterizándose por presentar relieve suave a llano, ligeramente ondulado y que en la actualidad son utilizados como áreas de pastoreo y cultivo.

El tipo de drenaje en la zona es dendrítico subparalelo controlado por factores estructurales y litológicos.

4.1.6. CARACTERISTICAS

4.1.6.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Tabla 18: Unidad Litoestratigrafica

LEYENDA									
CUADRO DE DESCRIPCION LITOLOGICA									
EPOCA	PERIODO	EPOCA	UNIDADES	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION LITOLOGICA	INTRUSIVOS			
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. aluviales	Qh-al	Gravas sub redondeadas a sub angulosas en vuelta en matriz arcillosa.				
			Dep. fluvioglaciaria	Qh-fg					
	NEOGENO	PLIOCENO	Fm.Casa Blanca	NQ-cb	Tobas de composicion riolitica, no representa estratificacion definida.				
			Gp. Barroso	Np-cay	Tobas de composicion dacitica a riodacita.				
				Nq-ba/da.an	Lavas daciticas a andesita porfiricas a afiricas.				
				Np-hu/pi	Aglomerados brechoides y tobas cristalinas.				
				Np-ja/pi	Tobas rioliticas a riodacitas y tobas retrabajadas.				
				MIOCENO	Fm. Yauri		Nm-ya	Areniscas finamente estratificadas con flujos piroclasticos y lavas	
	PALEOGENO	HOLIGOCENO	G. Tacaza	Pn-ta/an	Tobas cristobaliticas de composicion riolitica a dacitica y lavas andesiticas a traquibasalticas		Cello Coota	P-ce/Mz	Monzonita
							Choquechambe	P-ch/d.dg	Diorita/Gran odiorita
MESOZOICO	CRETACEO	MED.	Fm. Arcurquina	Kis-ar	Gravas sub redondeadas a sub angulosas en vuelta en matriz arcillosa.				
		INF.	Fm. Hualhuani	Ki-hu	Gravas y arenas en matriz limo arenosa.				

Fuente: INGEMMET, 2012

La zona de estudio pertenece estructuralmente a la zona denominada Cuenca Yura, la cual está constituida por rocas sedimentarias Jurásicos cretáceas (Formaciones Velille, Puca Puca y Hualhuani) cubiertas por productos volcánicos, comprendiendo el cuadrángulo de Velille y parte de Yauri.

La cuenca Yura presenta dos sistemas principales de falla con rumbo: NO-SE y SE-SO asociados con otros de menor magnitud; con buzamientos en algunos casos mayores a 70° y en otros menores de 40°. Un tercer sistema de fallas inversas, se observa en las inmediaciones de la mina Tintaya donde las cuarcitas Yura están sobre las calizas.

### **A. Formación Casa Blanca**

La localidad típica está en la parte alta del Río Cushabatay. Areniscas con niveles de lutitas, blanquecinas a grisáceas de 10 a 50 metros de espesor. Infrayace a la formación Yahuarango, sobreyace a las Formaciones Cachiyacu, Huchpayacu (Zárate 1997). Afectado por procesos tectónicos de la tectónica andina, fase peruana, fase quechua, esta última manifestada por fallamientos y flexuramientos (homoclinales). Por datos estratigráficos su edad es del Maestrichtiano inferior (Muller 1982 en Zarate 1997).

### **B. Grupo Barroso**

Estratos bien definidos de tufos y lavas de composición traquítica, CPV cantidades menores de andesita. Típicamente la roca es una traquita grisácea con fenocristales de sanidina y cristales microscópicos de biotita (Wilson 1962). EL Gp Barroso inf. piroclástica y lavicas es de extensión regional y ha cubierto una superficie de erosión que afecta la Fm Senca y Gp Tacaza, mientras los focos volcánicos del Gp Barroso superior lo cubren en extensión local a través del agrietamiento como de efusión del magma (Klinck et. al,1994).

En base a su posición estratificada se le asigna una edad de plioceno medio a superior (Wilson y García, 1962). Por edad geocronométrica: entre 1.6 – 1.8 Ma le corresponde una edad plioceno superior (Tostar, Farrat, y Clark, 1981). Por edad geocronométrica 8,7. (Fm. Casamientos del Gp Barroso) (Hawkins, 1986), le corresponde edad de Mioceno Superior (base).

### **C. Formación Yauri**

Limolitas tobáceas horizontales, blancas, laminadas con ocasionales horizontales gravosos, al norte de Ocoruro, cercanías de Yauli, limos consolidados y arenas finas, tobas retrabajadas o Ignimbrita, espesor + / – 200m (Klinck B. A. et al 1993).

Localidad de Llanos cerca de Yauri (cuadrángulo de Condoroma), el área de Ocoruro (Klinck ,et al., 1993), afloran en la carretera de El Descanso a Checca, al este y Sur de Checca (Audebaud, 1973), los sedimentos (lacustrinos ocupan aproximadamente el 40% del área total del cuadrángulo de Yauri y parte del cuadrángulo de Velille ( De la Cruz, 1995).

#### ***D. Grupo Tacaza***

La localidad típica esta en la mina Tacaza, Sta. Lucia, Puno. Andesitas, tufos y riolitas, con espesor de 200 m y localmente se presentan flujos basálticos, variando su composición de un lugar a otro. Contiene intercalaciones lenticular de conglomerados, areniscas lutáceas y tobas redepositadas. El Grupo Tacaza es conocido como un metalotecto, albergando mineralizaciones polimetálicas y auro-argentíferas.

El Grupo Tacaza muestra también una secuencia de rocas volcánicas que son afectadas por la Fase Quechua II, originando estructuras poco notables resultantes de esfuerzos compresivos que dieron lugar a un suave ondulamiento con algunas fallas de dirección N-S, que se observan en el Río Cotahuasi, Qda.Pampamarca.

Los estudios de datación por el método K/Ar (Noble, 1973) dados a conocer por Arenas 1974, en el área de Orcopampa, permite asumir la edad Miocénica, no obstante los niveles inferiores pueden ser Oligocénicos.

#### ***E. Formación Hualhuani***

La localidad típica está en los Cerros Hualhuani; Arequipa. Las cuarcitas superiores de la Formación Yura de hasta 500m. de espesor son compactas de color gris a marrón, de estratificación cruzada y presentan una intercalación de caliza de 2m. de espesor que se puede seguir por larga distancia, las cuarcitas son de color blanco de grano fino a medio en capas gruesas. El espesor de esta formación supera

los 250m. En el área de Caravelí se reportan secciones da hasta 600m. en los cerros Llamoc y Luicho, siendo menor en los afloramientos del Río Cotahuasi.

Estas cuarcitas sobreyacen a las lutitas y calizas inferiores del Grupo Yura, las cuarcitas blancas por lo tanto han sido asignadas al Cretáceo Inferior. Esta formación correlaciona con las formaciones Chachacumane del área de Tacna y, Soraya de las regiones de Apurímac, Cuzco y Ayacucho, normalmente yace sobre la Formación Labra e infrayace a la Formación Murco con suave discordancia erosional.

Estas cuarcitas están bien expuestas desde los C°s Gramadal y Hualhuani hasta el río Yura, siendo la localidad típica los cerros Hualhuani. Los afloramientos de esta formación constituyen farallones conspicuos y fáciles de cartografiar. También presenta afloramientos en la margen derecha del río Cotahuasi.

#### ***F. Formación Argurquina***

La localidad típica está en los valles adyacentes al cerro Arcurquina, Arequipa. Estas calizas forman estratos potentes de color gris claro u amarillento; algunos estratos son pizarrosos. Ciertas capas se caracterizan por la abundancia de nódulos de horsteno (variedad de cuarzos de forma irregular). Estas calizas son distintos a las calizas de la secuencia Socosachi, especialmente por su color claro, algunos estratos son muy fosilíferos. Algunos estratos son blancos debido al intemperismo y muchos tienen un fuerte olor bituminoso en fractura fresca (Jenks, 1948) Espesor  $\pm 640$  m. (Jenks, 1948). La formación consiste de calizas gris clara intercalados con lutitas y margas estratificadas en capas medianas y a veces en estratos gruesos; las calizas, comúnmente contienen nódulos de chert y también bandas del mismo mineral (Benavides, 1956).

Sus mejores exposiciones se hallan en los valles adyacentes al cerro Arcurquina que está A 11 Km. al S 30° E de Huanca. En tres valles situados al Sur del Cerro Arcurquina existe una sección completa de la mencionada caliza, igualmente se halla aflorando en los cerros Arcurquina, Quentos y Pajruyo (Jenks, 1948). En general

tienen una extensión limitada en la hoja debido a la potente cubierta de rocas volcánicas recientes al W del río Yura.

#### **4.1.6.2. GEOLOGÍA LOCAL**

En el área de trabajo (N de la Cruz) se registran estructuras de variado origen que afectaron tanto a las rocas sedimentarias antiguas como a las recientes, así mismo, las estructuras son diversas en los cuerpos ígneos de edad cretácico – paleógeno, y en rocas volcánicas que se han manifestado intermitentemente desde el Permiano hasta el Cenozoico. Observándose plegamientos, fracturamientos y direcciones de flujo característicos, que permiten identificar en el área de estudio cinco unidades o dominios estructurales que reciben las denominaciones de cuenca Yura, alto Yauri, altiplano , alto Azángaro-Ayaviri y cuenca Putina.

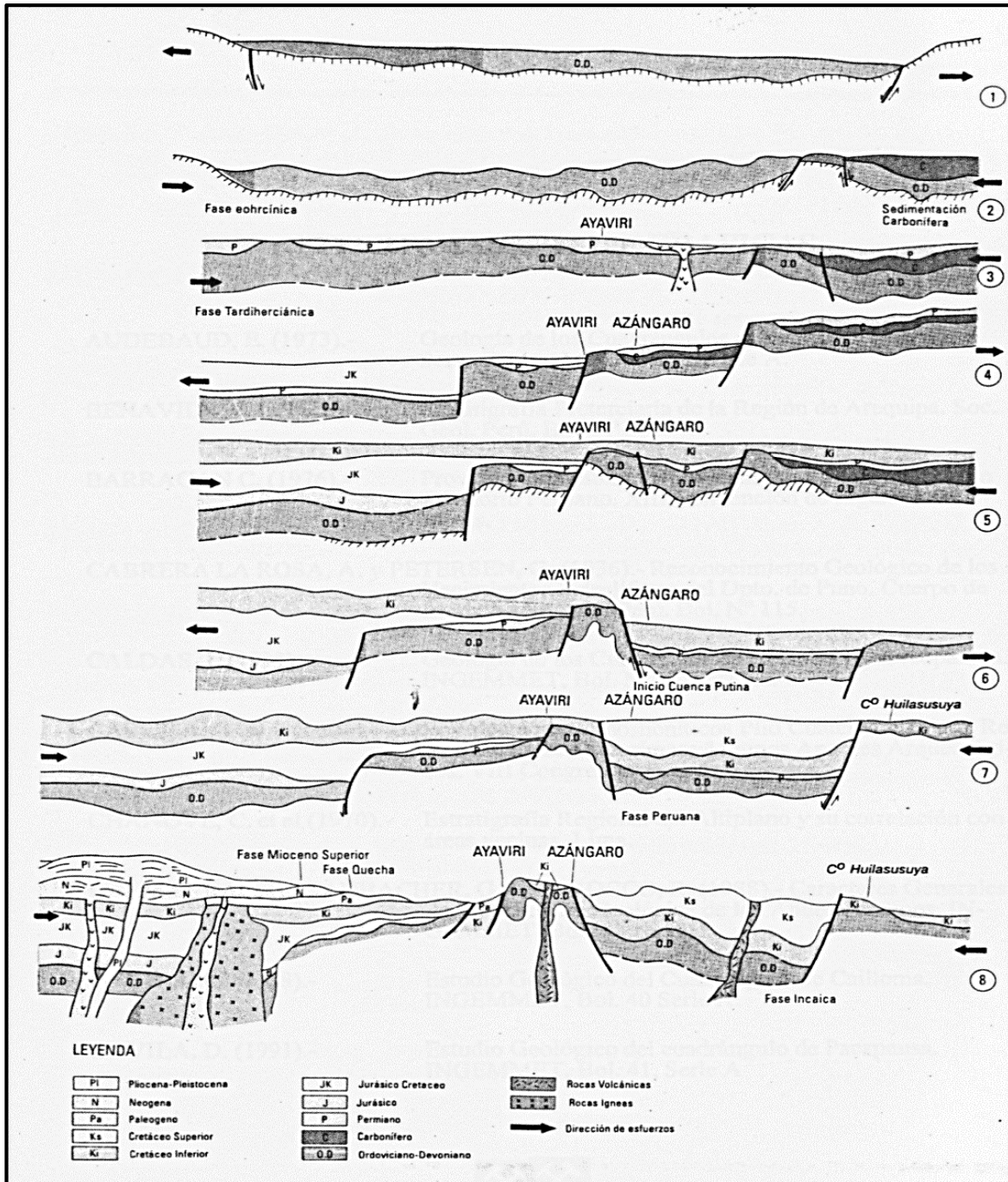
En cuanto a su geología local está delimitada por las siguientes estructuras según la edad en que se han ido depositando.

##### **A. Cuenca Yura**

Esta cuenca de extensión amplia está constituida por rocas sedimentarias Jurásico –Cretácicas (Fm Velille, PucaPuca, y Huallhuani) cubiertas por productos volcánicos, comprende principalmente el cuadrángulo de Velille y parte de Yauri, en el que se ubica el Proyecto Pallallaje.

Se reconocen dos sistemas principales de fallas con rumbo NO-SE, y NE- SO, asociados con otros de menor magnitud, con buzamientos en algunos casos mayores a 70° y en otros menores a 40°. Un tercer sistema de falla inversas, se observa en las inmediaciones de la Mina Tintaya donde las cuarcitas Yura están sobre las calizas.





**Figura 4:** Fases tectónica en el que se halla la cuenca Yura –Yauri al que pertenece la zona de estudio. (INGEMMET, 1996)

Otros plegamientos conspicuos y simétricos, de flancos con buzamientos suaves entre 10° y 20°, se presentan en los volcánicos Tacaza, cualitativamente importantes son las Tobas sub horizontales y aun suavemente incluidas rocas sedimentarias se ubica en el sector norte



En el contexto de las estructuras líticas expuestas y observadas con más detalle en las zonas de trabajo y áreas de influencia del vaso de presa a ser ampliado,

No se localizaron perturbaciones de continuidad en suelos ni en las rocas presentes, que pongan en duda la estabilidad de la infraestructura proyectada; la Formación Garza presenta un conjunto rocoso de tobas altamente resistentes en bloque, cuyos índices los exponen los ensayos de geotecnia.

Tampoco se han detectado señales de fallas ni plegamientos visibles que atestigüen una tectónica actuante, sin embargo, los diaclasamientos presentes en forma de disyunción columnar en las paredes de los cañones originados por efectos de enfriamiento, inciden en la calidad de los macizos; esto permite la búsqueda de soluciones en problemas de fundación y en otros casos de permeabilidad.

La no presencia de fallas y otras estructuras se encuentra corroborado en el mapa del cuadrángulo de Yauri, existiendo sólo algunas fallas muy locales de rumbo andino (NW–SE), hacia el NE y NW de la Formación Garza, sobre las formaciones de Hualhuani y Arcurquina que no afectan la zona de la presa Huayllumayo.

### ***B. Complejo Volcánico Caylloma***

El conjunto lítico de las áreas de la presa pertenecen a esta formación, y son de naturaleza tobácea según lo confirma el cuadrángulo de Yauri hoja 30t, al que tipifica como Formación Huaycha, datado al Neógeno pleistocénico, (Cuaternario), correlacionado con las rocas de los tres cañones de Yauri por presentar las mismas características de ocurrencia por los eventos efusivos volcánicos de la región que configuran los paisajes más prominentes. Las singulares geoformas de cañones estrechos y abiertos en diferentes lugares, se originan como resultado de los procesos erosivos del pasado geológico; las paredes rocosas verticales lo constituyen grandes macizos que se sobreponen a la acción destructiva de la geodinámica externa, sus minerales constitutivos muestran alta resistencia a los procesos de meteorización física y química siendo reconocidos como silicatos que ocurren en una matriz de

colores claros y texturas afaníticas (de grano fino) en su mayor parte, conteniendo vidrio en buena cantidad.

La composición mineralógica de las tobas lo caracteriza su contenido de vidrio afanítico, fragmentos lítico andesíticos conteniendo Fe, y como minerales accesorios se encuentran plagioclasas sódicas, micas, feldespato potásico y algunos granos visibles a la lupa de cuarzo, otros elementos son determinados en laboratorio.

La roca tobácea presente, presenta algunos rasgos de meteorización química que evidencian las pátinas pardas en la superficie de las rocas que paulatinamente van alterándose por efectos de limonitización y argilización; la mineralización reconocida, le otorga a los bloques atributos resistentes probadas a los impactos del martillo, su potencia total estimada es de 200 Mts. Al pie de los taludes escarpados, podemos apreciar la acumulación de material proveniente de las partes superiores (coluviales) debido a la desintegración y desprendimiento de bloques grandes y pequeños mezclados con arenas y limos de coloración oscura debido a restos vegetales.

Techo : Cubierto discordantemente por la Formación Casa Blanca

La base de esta formación está compuesta esencialmente por flujos brechoides mayormente dacíticos. Una muestra de toba dacítica soldada tomada en el cuadrángulo de Velille (8365-183) muestra al microscopio cristales rotos de plagioclasas (OligoclasaAndesina), abundante biotita, fragmentos de cuarzo en matriz vidriosa y microfracturas parcialmente rellenas por minerales de arcilla como la montmorillonita. Un fragmento subanguloso de andesita basáltica muestra fenocristales de olivino y microcristales de augita dispersos en una masa fluidal; el olivino está alterado mayormente a iddingsita, la augita frecuentemente muestra una textura zonada; la muscovita está reconocida en parte como producto de alteración. Dentro de la Formación Huaycha del Barroso inferior se incluye también los cuerpos de basalto de augita dispersa glomeroporfiríticamente en una matriz semiholocristalina con textura traquítica característica. La matriz consiste de

feldespatos microlíticos y pequeñas cantidades de olivino, augita y minerales opacos; muchos cristales de olivino están fuertemente alterados a iddingsita marrón rojizo. Una muestra de toba de lapilli al microscopio muestra feldespatos potásicos, lapilli, vidrio, biotitas, plagioclasas, cuarzo, vidrio y zeolita. Se observa además también algunos cristales de plagioclasas y cuarzo englobados en una matriz de vidrio parcialmente devitrificada y el feldespatos potásico en matriz de lapilli.

**C. Grupo Tacaza**

Este conjunto lítico pertenece a una secuencia de actividad del grupo tacaza; según el Ingemmet, le asignan edades atribuidas al Terciario pliocénico; circunda por el sur, este y oeste a las tobas del complejo volcánico Cailloma que subyace a esta unidad, y se distribuye ampliamente por la zona; sin embargo en las áreas circundantes de reconocimiento geológico a la presa, no se encontró este tipo de litología. De acuerdo al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico se trata de una secuencia de 210 Mts de potencia de tobas brechoides, líticas y cineríticas, fácilmente reconocibles por su coloración blanquecina y constitución friable que acompaña a los horizontes tobáceos; mineralógicamente son tobas de colores claros con niveles friables conteniendo clastos andesíticos; las tobas varían de composición riolítica, dacítica y limolítica con un aglomerado brechoide de clastos andesíticos en su base.

**Tabla 19:** Estratigrafía referente en zonas de influencia de la presa Huayllumayo

ERA	SIST.	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICA		POTE.	MIL AÑOS
			CUENCA OCCIDENTAL			
ZENOZOICA	Cuaternario	Inglogena	Dep. Aluviales		235 Mts 200 Mts	+-1.8
		Plestógena	Dep. Glaciofluvial			
			Dep. Mocrénicos			
			Frm. Yauri			
	Terc.		Gpo. Barroso	Fm. Casa Blanca	210 Mts	+-5.3
				Fm. Cailloma		

Fuente: INGEMMET, 2012

#### ***D. Formación Yauri: (Depósitos Fluvioglaciares)***

Son sedimentos de coloración gris blanquecina conteniendo granos de arena producto de las tobas, están presentes también conglomerados lenticulares fluviátiles depositados en capas delgadas según lo describe el boletín de Ingemmet, están tipificado como depósitos lacustrinos de la cuenca de Yauri, y es muy visible su extensión superficial que se estima en un 40% del área total del cuadrángulo de Yauri; la parte norte de la zona de la presa y toda la población de Yauri, están cubiertas por estos depósitos.

Estos sedimentos están delimitados por rocas de los grupos Tacaza, Puno y Barroso; La secuencia de tobas continúa sobreyaciendo a esta Formación y según sus variantes litológicas puede ser descrita a detalle.

#### ***E. Formación Hualhuani, Arcurquina y Depósitos recientes***

Estas formaciones, que corresponden a areniscas en el primer caso y calizas en el segundo, se encuentran focalizadas en algunos sectores (al NE y NW) de ubicación de la presa, los mismos que no tienen presencia lítica en el sector. En cambio los depósitos morrénicos, los glaciofluviales y aluviales recientes, cubren a las formaciones más antiguas y rellenan los cauces de riachuelos antiguos y pequeñas quebradas así como las depresiones existentes.

#### ***F. Formación Arcurquina***

Una secuencia calcárea que se encuentra en la quebrada Queñauahuayo del cuadrángulo de Arequipa en el cuadrángulo de Yauri los afloramientos de caliza se encuentran en las inmediaciones de las minas Tintaya, Atalaya y Corccohuayco, con características similares a las calizas que se encuentran en el cuadrángulo de Villille. En las inmediaciones de la mina Tintaya existe un pequeño afloramiento de areniscas y arcillas rojizas el mismo que no se encuentra en su posición real debido a que esta disturbado por fallamiento o por el emplazamiento de rocas ígneas. Al sur de la laguna

Langui Layo el piso no es conocido a diferencia del afloramiento que se encuentra en Quishura.

### ***G. Depósitos aluviales***

Están constituidos por la acumulación de materiales en el lecho de ríos y quebradas presentan su mejor distribución a lo largo de los cursos más importantes (ríos Azangaro, Ichuña, Salado, Santa Rosa, Crucero) así como en las quebradas principales consisten de materiales polimicticos de variado tamaño de arcillas hasta gravas moderadamente clasificados.





**Tabla 20:** Columna Cronoestratigráfica Local

ERA	SIS.	SERIE	UNIDAD ESTATIGRÁFICA	SÍM.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. Aluviales	Qh-al	Gravas de diámetro variable a subredondeadas envueltos en matriz arenolimososa
			Dep. Fluvioglaciares	Qh-fg	Gravas en matriz limoarenosa, incluye depósitos coluviales y de terraza
		PLEISTOCEN A	Dep. Morrénicos	Qpl-mo	Bloques angulosos a subangulosos de rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas de diámetro variable en matriz areno arcillosa.
	NEÓGENO	GPO. BARROSO	Caldera Caylloma	NP-cay	Tobas cristalolíticas de composición dacítica a ríodacita con plagioclasas alteradas y biotitas alteradas

Fuente: GEOTHERMAD SERVICIOS GENERALES E.I.R.L

#### 4.1.6.3. ZONA DEL EJE DE PRESA

La zona del eje de la presa presenta afloramientos de rocas volcánicas, depósitos aluviales y depósitos coluviales.

##### ❖ Estribo Derecho de Dique

En estribo derecho presenta afloramiento de rocas volcánicas del Complejo Volcánico Cailloma (Np-Ca/4), compuestas por tobas de color gris claro de matriz afanítica de grano media a fino.

##### ❖ Estribo Izquierdo de Dique

Mayormente cubierta de materiales coluviales que consisten de gravas limosas los cuales son producto de erosión en la parte superior de los cerros y que estos caen

por gravedad a las laderas, el basamento se trata de rocas volcánicas del Complejo Volcánico Cailloma (Np-Ca/4), que consisten en tobas de color gris claro con matriz afanítica de grano medio a fino los cuales afloran en la parte superior de los cerros, la inclinación de la ladera esta en un promedio de 30 a 45 grados y en las zonas de afloramiento de roca sobrepasa los 70 grados.

#### ❖ **Cauce de río**

Mayormente cubierta de materiales cuaternarios fluvioaluviales, redondeados cuya potencia es hasta 4.5m, subyace el basamento de rocas volcánicas del Complejo Volcánico Cailloma (Np-Ca/4), que consisten en tobas de color gris claro con matriz afanítica de grano medio a fino. Esta presenta un RQD de 60.

#### **4.1.6.4. ZONA DEL VASO**

##### ❖ **Vaso del Dique**

En el fondo del valle está formado por sedimentos coluviales y aluviales constituidos por materiales de limos, arenas y gravas, en todo el borde del vaso se encuentra limos, arenas y gravas con partículas angulosas característico de materiales coluviales esto producto del desprendimiento de las rocas en la parte más alta de los cerros y que estos se acumulan en las laderas.

##### ❖ **Fondo del Valle**

Está constituido por un depósito aluvial el cual consiste de gravas y arenas con partículas subangulosas de más de 10cm. de diámetro. Los cuales descansan sobre el basamento del Complejo Volcánico Cailloma (Np-Ca/4).

##### ❖ **Canal de Alivio de la presa**

Este canal atravesara en un 80% por la ladera derecha del cerro, sobre los afloramientos del Complejo Volcánico Cailloma (Np-Ca/4), el cual está constituida por tobas de color gris claro con textura afanítica y el restante atraviesa por depósitos coluviales y aluviales, este canal llegara a desembocar en la misma quebrada.



#### 4.1.6.5. SISTEMA DE DIACLAZAMIENTO Y FRACTURAMIENTO

La zona se encuentra dentro de la cuenca estructural Yura, a la que pertenece la zona de estudio presenta dos sistemas principales de falla con rumbo: NO-SE y SE-SO asociados con otros de menor magnitud; con buzamientos en algunos casos mayor a  $70^\circ$  y en otros menores de  $40^\circ$ . Un tercer sistema de fallas inversas, se observa en las inmediaciones de la mina Tintaya donde las cuarcitas Hualhuani están sobre las calizas Arcurquina.

Las diaclasas encontradas en la zona de estudio presentan separación mayor de 0.5m y con buzamientos de  $90^\circ$ .

##### ❖ Buzamientos

Los buzamientos en la zona del proyecto son en su mayoría verticales con un ángulo de  $90^\circ$ .

##### ❖ Alineamiento

Se aprecia un alineamiento de 1.7km de longitud, de  $15^\circ$  NE de rumbo y situado a 4.0km de la zona del eje de la presa.

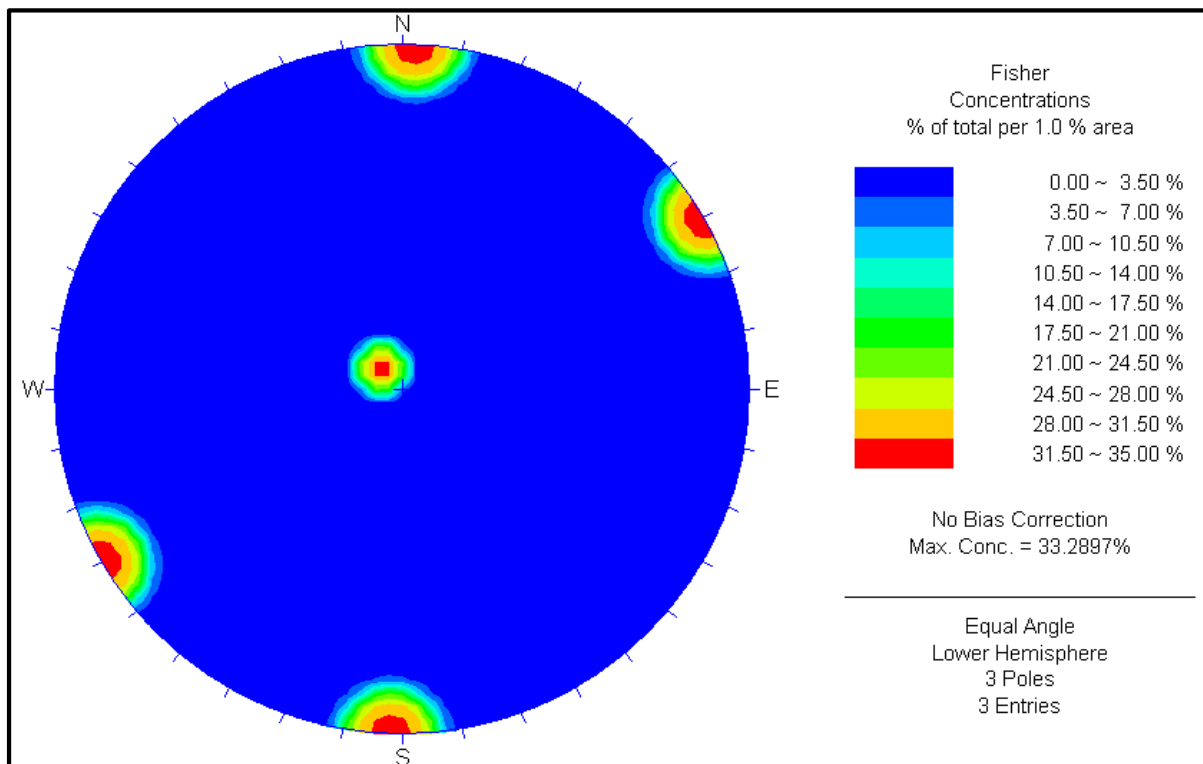
##### ❖ Falla

El sistema de falla en la zona de la presa es de menor magnitud, constituida por dos fallas normal de orientación NO-SE. La falla situada a la margen derecha y situada a 1.0km tiene un rumbo de  $5^\circ$  NO, con una longitud aproximada de 3.0km, con buzamiento del bloque hundido de  $30^\circ$ .

La falla sitúa a la margen izquierda y situada a 1.5 km tiene una longitud aproximada de 5.5km y con rumbo variable entre  $25^\circ$  NO y  $50^\circ$  NO con buzamientos en el bloque levantado de  $35^\circ$  a  $40^\circ$ .

El sistema de fallas y estructuras lineales no se presenta cercano a la zona del proyecto y no influyen en gran medida en el comportamiento mecánico y deformacional de la presa de retención de agua.

Las grietas que se observan en masa rocas volcánicas es el resultado del enfriamiento, razón por la cual forman mallas hexagonales. En la margen derecha se ha realizado un mapeo de las discontinuidades representativas presentándose tres familias de diaclasas representativas.



**Figura 6:** Grafica de patrón de discontinuidades menores encontradas en los estribos de la presa (Elaboración Propia).

## 4.2. PARÁMETROS GEOTECNICOS DE LA PRESA

En la ejecución de los estudios geotécnicos de la presa de Huayllumayo, se han tenido en cuenta los Términos de Referencia las Normas Técnicas existentes para este tipo de estudios.

El sistema de trabajo seguido ha consistido en el desarrollo de los siguientes aspectos:

- ❖ Revisión de los estudios anteriores.
- ❖ Ejecución de los trabajos de campo.
- ❖ La excavación de calicatas en la zona del vaso y eje de la presa.
- ❖ El mapeo geológico y geotécnico en la zona del vaso y eje de presa.
- ❖ Perforaciones diamantinas realizadas en el eje de la presa: uno en cada estribo y otro en el cauce del río, total 3 sondajes.
- ❖ Estudios de Sondajes Eléctrico Vertical, llevado a cabo con personal y equipo especializado.
- ❖ Trabajos de gabinete y elaboración del informe final.

#### **4.2.1. Geotecnia de la zona de estudio**

Para establecer las características geotécnicas de los suelos se ha excavado calicatas con el apoyo de una retroexcavadora, a partir de ellas se ha obtenido muestras para los diferentes ensayos de acuerdo a los términos de referencia, que constan de ensayos estándar y especiales.

##### **4.2.1.1. Excavación de calicatas.**

Se han excavado 08 calicatas, cinco de ellas dispuestas en la margen derecha del río y de la presa Huayllumayo, en la terraza de depósitos fluvio-glaciares con una profundidad de 3 m. y en el eje de presa propuesta tres calicatas en el lecho del río Huayllumayo con una profundidad de 2.50m dado la dificultad por la presencia del nivel freático que impedía la excavación .

### **1. Calicata N° 01**

Excavada encima de la trocha carrozable en la margen derecha del río Huayllumayo próximo a los postes de conducción eléctrica, con una profundidad de 2.20m.

De 0 a 0.40 m constituidos por suelos edáficos con raíces.

De 0.40 a 1.00 m conformados por grava arenosa con clastos de diámetros de 10 cm de constitución volcánica mayormente con menos del 10% de areniscas y otros.

De 1.00 a 2.20 m conformada por limos arenosas con gravas de coloración amarillenta con limos de coloración rosada.

Nivel freático a 2.00 m de profundidad.

### **2. Calicata N° 02**

Excavada debajo de la trocha carrozable en la margen derecha del río Huayllumayo próximo a la calicata N° 01, con una profundidad de 2.30m.

De 0 a 0.30 m esta constituida por suelos edáficos de color marrón gris con raíces.

De 0.30 a 1.30 m conformada por grava arenosa con clastos de grandes (20 cm de diámetro) en una matriz limos arcillosa de coloración amarillenta.

De 1.30 a 2.15 m conformada por grava areno limosa de coloración amarillenta, con presencia hacia la zona inferior de la calicata de lentes de arcilla de 10 cm de espesor y 25 cm de ancho de coloración rosada.

Nivel freático a 2.00 m de profundidad.

### **3. Calicata N° 03**

Excavada a un costado de la trocha carrozable en la margen derecha del río Huayllumayo en la zona más llana de la terraza, con una profundidad de 2.40m.

De 0 a 0.60 m consta de suelos edáficos de color gris marrón con raíces.

De 0.60 a 0.90 m está constituida por arcilla de coloración gris.

De 0.90 a 1.60 m conformada por arena limosa muy compacta de coloración amarilla.

De 1.60 a 2.20 m constituida por arena limo arcillosa con de coloración pardusca amarillenta.

Nivel freático a 2.10 m de profundidad.

### **4. Calicata N° 04**

Excavada dentro del enmallado de la presa en alineamiento del eje de presa propuesta, próximo al muro de letrero existente, con una profundidad de 1.90 m.

De 0 a 0.40 m conformada por suelos edáficos con raíces.

De 0.40 a 0.60 m conformada por arcilla de coloración gris –negro.

De 0.60 a 1.90 m conformada por grava arenosa en matriz limo arcillosa de coloración amarillenta de carácter muy compacto.

### **5. Calicata N° 05**

Excavada dentro del enmallado de la presa en alineamiento del eje de presa propuesta, próximo a la calicata 4, con una profundidad de 1.20 m, dado que se encuentra el basamento rocoso a esta profundidad.

De 0 a 0.30 m conformada por suelos edáficos con raíces

De 0.30 a 1.20 m conformada por grava arenosa limosa muy compacta de coloración amarilla oscura, desde los 1.20 m se tiene roca compacta.

### **6. Calicata N° 06**

Excavada en el alineamiento del eje de presa propuesto dentro del lecho del río Huayllumayo con una profundidad de 1.20 m,

De 0 a 0.20 m material orgánico con bastante radificación.

De 0.20 a 1.20 m grava arenosa con cantos de tamaños heterogéneos. El nivel freático se halla a 0.30m de la superficie, que impide la excavación a mayor profundidad.

### **7. Calicata N° 07**

Excavada en el alineamiento del eje de presa propuesto dentro del lecho del río Huayllumayo con una profundidad de 1.30 m,

De 0 a 0.20 m material orgánico con bastante radificación

De 0.20 a 1.20 m grava arenosa con cantos de tamaños heterogéneos.

El nivel freático se halla a 0.20m de la superficie, que impide la excavación a mayor profundidad.

**8. Calicata N° 08**

Excavada en el alineamiento del eje de presa propuesto dentro del lecho del rio Huayllumayo con una profundidad de 1.30 m,

De 0 a 0.20 m material orgánico con bastante radificación.

De 0.20 a 1.20 m grava arenosa con cantos de tamaños heterogéneos de hasta 20 cm de tamaño.

El nivel freático se halla a 0.20m de la superficie, que impide la excavación a mayor profundidad.

**4.2.1.2. Clasificación de suelos**

Se han realizado los muestreos de las calicatas así como se ha registrado los perfiles estratigráficos de cada calicata excavada de acuerdo a los términos de referencia, las muestras obtenidas han sido ensayadas en el laboratorio de GEO CUSCO E.R.L cuyos resultados se extracta en la siguiente tabla:

**Tabla 21:** Resumen de características granulométricas y clasificación SUCS

UBIC.	GRANULOMETRIA			LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIF.	CONT. HUM.	DESCRIPCIÓN
	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	LÍMITE LIQ.	LÍMITE PLÁST.	INDICE DE PLAST.	SUCS		
C – 1	13.63	15.22	71.16	27.81	21.86	5.95	CL-ML	22.09	Arcilla limosa de baja a media plasticidad
C – 2	70.53	17.77	11.7	27.53	21.27	6.26	GP-GM	18.45	Grava mal graduada con arcilla y limos
C – 3	60.75	19.2	20.04	27.56	21.64	6.52	GC-GM	18.75	Grava arcilla limosa
C – 4	55.94	23.84	20.22	31.45	22.32	9.13	GC	16.87	Grava arcillosa
C – 5	54.68	28.77	16.59	30.37	22.09	8.28	GC	18.7	Grava arcillosa
C – 6	52.25	42.54	5.21	NP	NP	NP	GW-GM	30.25	Grava bien graduada con limos
C – 7	69.8	26.9	3.3	NP	NP	NP	GP-GM	30.62	Grava mal graduada con limos
C – 8	65	32.77	2.27	NP	NP	NP	GW-GM	33.74	Grava bien graduada con limos

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran una tendencia predominante de gravas con limos y arcillas como matriz en el que se hallan soportadas, a excepción de la calicata N°1

que presenta arcillas en un nivel que no sobrepasa los 0.80 m con niveles de gravas arcillosas.

Los suelos en las calicatas del 1 al 5 muestran un grado de compactación relativamente, que se comporta como un suelo sobre consolidado.

Las calicatas en el lecho del rio son gravas bien y pobremente graduadas con arenas y limos, con bolones de tamaños heterogéneos.

**4.2.1.3. Capacidad portante admisible para los suelos**

Para hallar la capacidad portante admisible en suelos cuaternarios en las laderas de la quebrada Huayllumayo, se ha realizado ensayos de corte directo a partir de las muestras obtenidas en muestras de las calicatas C- 4 y C-5 respectivamente.

**Tabla 22:** Resumen de Capacidad portante admisible de suelos en Deslizamiento

UBICACIÓN	Densidad natural gr/cm <sup>3</sup>	Ángulo de fricción (°)	Cohesión kg/cm <sup>2</sup>	Capacidad portante Adm (kg/cm <sup>2</sup> )
C-4 EN NIVEL DE ARCILLAS LIMOSAS	1.74	10.6	0.19	1.12
C-5 EN GRAVAS ARCILLOSAS	1.66	24.4	0.11	2.53

Fuente: Elaboración Propia

Los valores oscilan entre 1.12kg/cm<sup>2</sup> a 2.53 kg/cm<sup>2</sup>, para un factor de seguridad de 3 y a un metro de profundidad

**4.2.1.4. Permeabilidad en suelos**

Se ha realizado 03 ensayos de permeabilidad in situ con la finalidad de obtener los coeficientes de permeabilidad in situ, estos ensayos se han ejecutado en el interior de las calicatas C-1, C-2, y C-3, para establecer comparaciones con respecto a las



permeabilidades que se presentaran durante las perforaciones diamantinas en profundidad. El método de ensayo utilizado ha sido el de carga variable, con un tubo de 1.50 m de largo y de 2” de diámetro.

Para establecer los grados de permeabilidad en base a los valores del coeficiente de permeabilidad nos basamos en los valores de Braja M. Das, y de acuerdo a W.Lambe y R. Whitman los valores de coeficientes y grados de permeabilidad se muestra en la siguiente Tabla:

**Tabla 23:** Clasificación de suelos según sus coeficientes de permeabilidad

TIPO DE SUELO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD k(cm/s)
Grava media a gruesa	Mayor que 10 – 1
Arena gruesa a fina	10 – 1 a 10 – 3
Arena fina, arena limosa	10 – 3 a 10 – 5
Limo, limo arcillosos, arcilla limosa	10 – 4 a 10 – 6
Arcillas	10 – 7 o menor
Valores del coeficiente de permeabilidad para varios tipos de suelo (según Braja M. Das.)	
GRADO DE PERMEABILIDAD	VALOR DE k (cm/s)
Elevada	Superior a 10 – 1
Media	10 – 1 a 10 – 3
Baja	10 – 3 a 10 – 5
Muy baja	10 – 5 a 10 – 7
Prácticamente impermeable	Menor de 10 – 7

Fuente: Terzaghi & Peck (1967)

El carácter de los coeficientes de permeabilidad en toda el área prospectada, depende de la distribución espacial de los suelos. Siendo así, se puede establecer que en el interior de las calicatas los suelos que se encuentran compactos y tienen presencia de limos y arcillas, según la clasificación de suelos obtenidas son gravas limosas arcillosas, lo que le otorga estos rangos de 4.84E-04cm/s a 9.84E-05 cm/s representa una permeabilidad baja de acuerdo a Terzaghi & Peck (1967).

**Tabla 24:** Ensayos de permeabilidad y resultados de los coeficientes de permeabilidad

UBICACIÓN	Densidad natural (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	K Min (Cm/s)	K Prom (Cm/s)
C – 1	1.79	18.2	4.18E-05	9.84E-05
C – 2	1.74	17.8	3.82E-04	5.34E-04
C – 3	1.66	15.6	2.70E-04	4.84E-04

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1.5. Valoración del macizo rocoso.

Para determinar las características físicas mecánicas del terreno de fundación en la zona de la represa Huayllumayo, se ha realizado la valoración del macizo rocoso, para lo cual se ha utilizado un formato de registro de información de los parámetros geomecánicos necesarios para la valoración del macizo rocoso por el método de RMR (Bieniawski, 1989).

Así mismo se añade las direcciones de los sistemas de fracturas y fallas sintetizadas en el software DIP, para incluir como dato de análisis para la estabilidad de talud del macizo rocoso.

Para los ensayos de resistencia uniaxial se ha procedido al tallado de muestras para la rotura, valores que se han considerado para la valoración del macizo rocoso.



En la tabla se resume los valores del macizo rocoso en las estaciones geomecánicas en las márgenes del río Huayllumayo, habiéndose obtenido valores para la cimentación y para el comportamiento del talud, calificando en ambos casos como una roca de buena calidad de clase II y de calidad media Clase III, tal como se aprecia en la Tabla de resumen.

**Tabla 25:** Valoración del macizo rocoso en las márgenes del río Huayllumayo

UBICACIÓN	PUNTAJE	CALIDAD (RMR)	CLASE (RMR)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa
EGM 1	62	Buena	II	13.34
EGM 2	61	Buena	II	21.16
EGM 3	66	Buena	II	22.24
EGM 4	53	Media	III	26.28
EGM 5	61	Buena	II	26.53
EGM 6	50	Media	III	15.30

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 26:** Resistencia a la compresión uniaxial – Preas Huaylluamyo

	Carga en Lb	Factor de Conver.	carga en Kg	area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>
MD -1 Margen derecha de Presa	7500	2,2046	3401,98	25	136,08
MD -2 Margen derecha de Presa	12500	2,2046	5669,96	25	226,80
MD -3 Margen derecha de Presa	10000	2,2046	4535,97	25	181,44
MD -4 Margen derecha de Presa			6720,00	25	268,80
Promedio Margen derecha					203,28
MI -1 Margen izquierda de Presa			9740,00	36	270,56
MI -2 Margen izquierda de Presa			5730,00	36	159,17
MI -3 Margen izquierda de Presa			5620,00	36	156,11
Promedio margen izquierda					195,28

Fuente: Elaboración Propia

Corrección por la orientación de las discontinuidades												
Dirección de buzamiento		Muy favo	Favo	Medias	Desfav	Muy fav	Favor	Medias	Desfavor	Muy desf		
Puntuación	Túneles			-5		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		-2			0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		-5			0	-5	-25	-50	-60		
Clasificación						Características geotécnicas						
Clase	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	Clase	
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala	3-4kp/cm2	3-4kp/cm2	2-3kp/cm2	1-2kp/cm2	<1kp/cm2	Cohesion	
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°	φ	
Puntuación del macizo						Orientación de discontinuidades del tunel						
Valor	Clase	Calidad	Para Túneles	59	Media	Dirección perpendicular al tunel						
62	II	Buena	Para Cimentación	62	Buena	Exc con buz		Exc contra bz		dirección    tunel		
			Para Taludes	59	Media	bz45-90		bz20-45		bz 0°-20° cuál dir		
						muy fav	favor	media	desfav	muy desf	media	desfav






Figura 8: Valoración del Macizo en el área Presa Huayllumayo y hoja de calculo.

#### 4.2.1.6. Capacidad portante admisible para los macizos rocosos.

Para obtener la capacidad portante admisible de los macizos rocosos de los cuales se ha obtenido las muestras, se ha utilizado los códigos americano, inglés y el del ISRM, cuyo resumen se extracta en la siguiente tabla.

Tabla 27: Capacidad de carga admisible para los macizos rocosos en Qda Huayllumayo

UBIC	CARGA (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )			Capacidad portante Adm. (kg/cm <sup>2</sup> )		
			Código americano	Código Ingles (DIN1054)	ISRM	Código americano	Código Ingles (DIN1054)	ISRM
MD 1	3401.98	25	136.08	No considera	136.08	5.44	40.00	68.0
MD 1	5669.96	25	226.80	No considera	226.80	9.07	40.00	113.4
MD 1	4535.97	25	181.44	No considera	181.44	7.26	40.00	90.7
MD 1	6720	25	268.80	No considera	268.80	10.75	40.00	134.4
MI 1	9740	36	270.56	No considera	270.56	10.82	40.00	135.3
MI 2	5730	36	159.17	No considera	159.17	6.37	40.00	79.6
MI 3	5620	36	156.11	No considera	156.11	6.24	40.00	78.1

Fuente: Elaboración Propia



El más conservador es el Americano, dado que sus valores llegan a 5.44 kg/cm<sup>2</sup> para resistencias encima de 136 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo el Inglés lo describe cualitativamente y otorga valores de 40 kg/cm<sup>2</sup> para rocas homogéneas, y el ISRM le otorga un factor de seguridad inferior al americano.

Por las consideraciones expuestas y teniendo en cuenta, que estos macizos deben soportar no solamente de cargas estáticas, sino dinámicas, se recomienda considerar los valores del código americano para las diversas propuestas de infraestructura.

#### 4.2.1.7. Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad estático del Granito es 0.3-7.6 x 10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>. y el Coeficiente de Poisson 0.24 a 0.29 tal como se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 28:** Cuadro de Módulo de Elasticidad y de Poisson

ROCA INTACTA	Módulo de elasticidad estático (E kg/cm <sup>2</sup> )	Coeficiente de Poisson
Toba Volcánica	(0.3 – 7.6)*10E5	0.24 – 0.29

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1.8. Permeabilidad del macizo rocoso.

A partir de las mediciones de fracturamiento y los sistemas existentes en la margen derecha e izquierda se ha obtenido de modo indirecto el coeficiente de permeabilidad, cuyos resultados para zonas donde existen dos sistemas de fractura importantes y con las mismas características es de 2.116E-01cm/s, y para zonas donde se encuentran dos sistemas el coeficiente es de 6.53E-3cm/s. En el cuadro se resume la información de permeabilidad.

**Tabla 29:** Permeabilidad del área para dos familias de discontinuidades (primer ensayo)

Condición del macizo	Sistema b y e	Espaciam.	K Matriz	u	pa*seg
Abertura (m)	C1	0.0350	1.00E-05	1.00E+03	1.00E-02
Abertura (m)	C2	0.0500	g=	981	m/s <sup>2</sup>
Abertura (m)	C3	0.0150	v=	1.00E-02	m <sup>2</sup> /s
<b>Prom. Esp.</b>		0.0333	12 v*b	1.68E-01	
Separación (m)	S1	0.600	g*e3	0.0363333	
Separación (m)	S2	2.100	K=	2.16E-01	
Separación (m)	S3	1.500			cm/s
<b>Prom. Sep.</b>		1.400			

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 30:** Permeabilidad del área para dos familias de discontinuidades (segundo ensayo)

Condición del macizo	Sistema b y e	Espaciam.	K Matriz	u	pa*seg
Abertura (m)	C1	0.01	1.00E-05	1.00E+03	1.00E-02
Abertura (m)	C2	0.01	g=	981	m/s <sup>2</sup>
			v=	1.00E-02	m <sup>2</sup> /s
<b>Prom. Esp.</b>		0.01	12 v*b	1.50E-01	
Separación (m)	S1	0.5	g*e3	0.000981	
Separación (m)	S2	2.0	K=	6.54E-03	cm/s
<b>Prom. Sep.</b>		1.250			

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1.9. Absorción.

Se ha procedido a realizar los ensayos de absorción de la roca muestreada, para lo cual se ha secado por 48 horas a 118° C y luego se ha procedido al pesado, y posteriormente se ha cometido a la absorción en agua destilada por 48 horas, cuyo resultado es 10.20% de absorción.

## 4.2.2. Evaluación Geotécnica del eje de presa

### 4.2.2.1. Trabajos de Campo

#### 4.2.2.1.1. Calicatas

Con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área de estudio fueron extraídas muestras para el posterior ensayo de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la zona de emplazamiento del sistema de agua potable y alcantarillado. Se ha realizado en total tres (03) calicatas a cielo abierto, distribuido convenientemente en el área de estudio; de las cuales una se circunscribió a esta zona. La Tabla N° 31, describe la profundidad de calicatas.

**Tabla 31:** Profundidad de calicatas C-1

<b>CALICATA N°</b>	<b>PROF. (m.)</b>	<b>N- FREATICO (m)</b>
C-1	1.30	0.80

Fuente: Elaboración Propia

La profundidad de la calicata C-1 fue mínima dado que se encontró nivel freático de 0.80m.

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales del terreno de fundación se llevaron para el detalle del proyecto a cabo investigaciones mediante la ejecución de calicatas y trincheras a “cielo abierto” de 2.0m de profundidad mínima. Además de ensayos de penetración dinámica ligera DPL hasta la profundidad de 2m, en suelos finos. De los materiales encontrados en las calicatas se obtuvieron muestras disturbadas, las que fueron descritas e identificadas con la ubicación, número de muestra y profundidad; luego fueron colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Durante la ejecución de los estudios de campo se llevó el registro de los espesores de cada una de las capas del sub-suelo, sus características de gradación y su estado de compacidad.



Las muestras de suelos fueron clasificadas y seleccionadas siguiendo el procedimiento descrito en ASTM D-2488 "Práctica Recomendada para la Descripción de Suelos". Se ejecutaron para la zona del eje de la presa un total de un (02) calicata y una (01) trinchera calicata, así como un (01) ensayo de penetración dinámica ligera

Para la zona del vaso de la presa se ejecutaron un total de seis (06) calicatas y tres (03) trincheras calicatas, así como ocho (08) ensayos de penetración dinámica.

**Tabla 32:** Profundidad y ubicación de calicatas

CALIC. N°	PROF. (m.)	N.F. (m)	UBICACION	TIPO DE SUELO
C-1	1.20	0.80	Eje de la presa	Material de grava redondeada a subredondeada con matriz arena media a fina, a partir de 0.90 nivel freático.
C-2	1.20	--	Eje de la presa	Material de grava redondeada a subredondeada con matriz arena media a fina, a partir de 0.90 nivel freático.
TR-1	3.00	--	Eje de la presa	Cobertura de limo arenoso, semidensa. Debajo material de arena limosa, semidensa con grava. Roca arenisca alterada.

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2.1.2. Ensayos de Penetración DPL

Con la finalidad de complementar y reforzar la investigación de las calicatas, se realizaron ensayos de penetración usando el equipo DPL. La Tabla N° 33, describe las profundidades del ensayo.

**Tabla 33:** Penetración DPL

DPL N°	PROF. (m.)
DPL-9	0.60

Fuente: Elaboración Propia

**4.2.2.1.3. Ensayos de densidad de campo**

Se tomaron ensayos de campo para verificar la densidad natural en campo de los estratos representativos, resultados que nos permitirá remoldear las muestras para la ejecución de los ensayos mecánicos de laboratorio.

La Tabla 34, muestran los resultados de dichos ensayos:

**Tabla 34:** Densidad de Campo

CALICATA	MUESTRA	PROF.	$\gamma_t$	$\gamma_d$
TR-1	M - 2	0.30-3.00	1.40	1.20

Fuente: Elaboración Propia

**4.2.2.1.4. Muestreo inalterado y disturbado**

Se tomaron muestras de cada uno de los tipos de suelos encontrados en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de clasificación y de identificación de los suelos. Se extrajo además, muestras representativas para el ensayo de corte directo, ensayo de compresión triaxial, sobre las muestras correspondientes, el mismo que nos permitirá realizar el cálculo de la capacidad portante, de resistencia cortante y evaluar los valores de empuje activo y pasivo para el diseño de muros (si estos son necesarios), así como los asentamientos por acción de la carga aplicada.

**4.2.2.1.5. Registro de excavaciones**

Paralelamente al muestreo se realizó el registro de cada una de las calicatas, anotándose las principales características de los tipos de suelos encontrados, tales

como: espesor, humedad, tipo de grano, plasticidad, consistencia, granulometría, textura, color, etc.

#### 4.2.2.1.6. Registro de perforaciones

##### a. Sondaje diamantino DM – 1 (Estribo Derecho)

❖ Tramo de 0.00 a 10.00m:

Tufo Volcánico, tipo sillar, de coloración anaranjada con lentes de tufos rosáceos, de baja resistencia a la compresión uniaxial, se rompe con un solo golpe de martillo. Presenta un RQD de 80 en promedio y una recuperación de 85%. Presenta reducida intemperismo.

CLASIFICACION GEOMECÁNICA DEL SONDAJE DIAMANTINO DM – 1: (Bienawsky) : Esta clasificación se aplica a las rocas del presente Sondaje en promedios de la siguiente manera:

**Tabla 35:** Clasificación Geomecánica del Sondaje Diamantino DM – 1: (Bienawsky)

TRAMO m	RQD = 80% Promedio %	Rec. Muestra : 80.00% Promedio %
0.00 – 8.00	75	80
8.00 – 10.00	80	90

Fuente: Elaboración Propia

❖ Tramo de 0.00 a 8.00 m:

Está constituido por rocas volcánicas compuestas por tufos, de baja resistencia a la compresión uniaxial y bajo peso unitario, de color anaranjado con manchas rosáceas. Presenta alta recuperación de testigos y un alto valor de RQD, Presenta Regulares a Buenas características como material de fundación, según la clasificación geomecánica resulta ser de clase III (Mediana) a Clase IV (Mala).

- ❖ Tramo de 8.00 a 10.00 m.:

Constituido por rocas volcánicas, que aplicando la clasificación geomecánica de Bienawsky resultan ser de Clase III (Mediana) a Clase IV (Mala), y continua en profundidad, no requiere tratamiento adicional para soportar la carga actuante de la presa a proyectarse y de baja permeabilidad no siendo necesario la impermeabilización con inyección.

**b. Sondaje diamantino DM –2** (Cauce del río)

- ❖ Tramo 0.00 a 4.50m :

En la parte superficial de este tramo, (de 0.00 a 4.50m) se presentan: Gravas bien graduadas a pobremente graduada, de matriz limosa, limpias, de partículas redondeadas, medianamente compactas. Geológicamente el material es transportado depósitos fluvialuviales emplazadas en el centro del cauce del río.

- ❖ Tramo de 4.50 a 10.00m :

Está constituido por material de roca volcánica compuesto por tufos, de baja resistencia a la compresión simple, de coloración anaranjada y rosada, con alta recuperación de muestras y con un RQD de 60.

En cuanto a su grado de resistencia, la roca es competente. El RQD oscila de 50 al 60 % y la Rec. de la muestra entre los 40 y 65.

**Tabla 36:** Sondaje Diamantino DM-2

<b>TRAMO m</b>	<b>RQD = 60% Promedio %</b>	<b>Rec. Muestra : 60.00% Promedio %</b>
0.00 – 4.50	-	-
4.50 – 10.00	60	60

Fuente: Elaboración Propia

## CLASIFICACION GEOMECÁNICA DEL SONDAJE DIAMANTINO DM – 2 : (Bienawsky)

### ❖ De 0.00 a 4.50 m.:

Este tramo por ser suelo, es clasificada según el SUCS como GW intercalada con SM, cuyas características geotécnicas se dan líneas arriba, y presenta un promedio de Recuperación de Muestra del orden del 40 %, y un RQD del 10%, se le clasifica como un suelo Regular que puede servir como material de cimentación de una presa de Enrocado con un diseño adecuado.

### ❖ De 4.50 a 10.00 m.:

Este tramo esta constituido por rocas volcánicas que presentan un RQD promedio del 60 % , una recuperación de muestra del orden del 60 %, por lo que se le clasifica como una roca Clase III ( Mediana ).

Según la clasificación geomecánica la calidad de la roca es de regular a mala calidad pero que no es necesario el reforzamiento con perforaciones de inyección de consolidación debido a la baja carga aplicada para el proyecto.

## c. SondaJe diamantino DM – 3 : (estribo izquierdo)

### ❖ Tramo de 0.00 a 3.00 m.:

Material de arena limosa con intercalaciones de grava, las partículas de grava son de bajo paso volumétrico y de composición de tufos volcánicos, de densidad semi compacta.

### ❖ Tramo de 3.00 a 10.00 m.:

Tufo volcánico de coloración rosada y anaranjada de baja capacidad de resistencia a la compresión uniaxial y de bajo peso volumétrico, presenta un alto

valor de recuperación y un valor alto de RQD, las discontinuidades presenta separaciones mayores de 30cm.

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL SONDAJE DIAMANTINO DM - 3 (Bienawsky): De acuerdo a la Clasificación Geomecánica, este Sonda se presenta de la siguiente manera:

❖ Tramo de 3.00 a 10.00 m de profundidad.:

Rocas volcánicas compuestas por tufos, poco compactas, medianamente fracturadas y poco intemperizadas, con las siguientes características geomecánicas:

**Tabla 37:** Sonda Dinámico DM -3

<b>TRAMO m</b>	<b>RQD = 70% Promedio %</b>	<b>Rec. Muestra : 80.00% Promedio %</b>
0.00 – 3.00	-	-
3.00 – 10.00	70	80

Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede observar, este tramo presenta valores altos de RQD, Rec. de Muestra, que sumados a los factores de: Espaciamiento entre Fracturas, Condiciones de las Juntas, y Napa Freática, da como resultado una roca volcánica Clase III a IV, Mediana a Mala. Las características geomecánicas según la Clase indicada, se muestran en los siguientes Tablas: (Ver Tabla de Clasificación Geomecánica de Bienawsky)

Con la finalidad de mejorar las condiciones geomecánicas de este tramo, debe considerarse en la etapa de diseños, el tratamiento de la cimentación (con inyecciones de cemento u otros sistemas de impermeabilización).

Nota.- Para una mayor información se sugiere lo siguiente:

Impermeabilización a través de una pantalla de inyección de cemento, desde el plinto a una profundidad que sobrepase 5m el basamento rocoso, con esta medida se declarará estanco la garganta de la presa. De no efectuarse este trabajo especial, la garganta de la presa se declara como poco estanco.

**Tabla 38:** Clasificación Geomecánica de Bienawsky

PARAMETRO	BANCO DE VALORES				
	A	B	C	D	E
RESISTENCIA	15	12	8	4	0
RQD	90%	75-90%	50-75%	25-50%	25%
	20	17	18	8	3
ESPACIAMIENTO ENTRE FACTURAS	200 cm	60 - 200 cm	20 - 60 cm.	6 - 20 cm.	6 cm.
	30	25	20	10	5
CONDICIONES DE LAS JUNTAS	a	b	c	d	e
	25	20	12	6	0
NAPA DE AGUA	COMPLETAMENTE SECO	HUMEDO	BAJA PRESIÓN	MEDIANA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN
	10	7	5	3	0
PUNTAJE	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	0 - 20
CLASIFICACIÓN	I	II	III	IV	V
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIANA	MALA	MUY MALA

Fuente: Bieniawski, 1989

**Tabla 39:** Tabla Referencial de Propiedades Geomecánicas

Características	Clase V	Clase IV	Clase III	Clase II	Clase I
Velocidad sísmica (m/s)	400 – 1500	1500 – 2500	2500 – 3500	3500 – 4400	4400
Módulo de deformabilidad (Kg./cm <sup>2</sup> )	---	200	---	200 a 600	600
Coefficiente Poisson	0.2	0.2 – 0.18	0.18 – 0.13	0.13 – 0.10	0.10
Compresión simple (Kg/cm <sup>2</sup> )	100	100 – 500	500 – 1000	1000 – 2500	2500
Peso específico	2.6	---			3.00
Angulo de rozamiento	15°	15 – 25	25 – 35	35.60	35.60

Fuente: Bieniawski, 1989

#### 4.2.2.1.7. Interpretación de los resultados área del eje de presa

De acuerdo a los parámetros geomecánicos obtenidos en las perforaciones diamantina como son: el índice RQD, % de recuperación, grado de resistencia, permeabilidad, grado de alteración, espaciamiento entre discontinuidades, condiciones de las juntas, condiciones de la napa, así como los aspectos litológicos del perfil, condiciones estructurales y sísmicas del área del eje puede manifestarse lo siguiente:

Existen a lo largo del eje seleccionado dos formaciones geológicas bien diferenciadas y definidas que son: (de arriba hacia abajo).

- a. Gravas bien graduadas a gravas limosas arenosas (GW a SM), color marrón oscuro en húmedo y marrón claro en seco, en estado regularmente compacto, que engloban fragmentos rocosos redondeados a subredondeados de diferentes tamaños (de 0.10 a 2.5 m de diámetro). Geológicamente son depósitos de suelos coluviales y aluviales que se emplazan en las laderas de ambos flancos al pie de los taludes y cause del río.

Presentan las siguientes características físicas – mecánicas representativas:

Clasificación SUCS	: GW a SM
Densidad Natural de la matriz	: 2.0 a 1.50 gr./cm <sup>3</sup> .
Peso Específico Sólidos	: 2.50 gr/cm <sup>3</sup> .
Angulo de fricción	: 36° (ensayo de corte directo)
Cohesión	: 0.0 kg./cm <sup>2</sup> .
Permeabilidad	: 1.0 x 10 <sup>-2</sup> a 5.0 x 10 <sup>-4</sup> cm/seg.



De lo expuesto se manifiesta que si bien es cierto que por las características que presentan los tramos descritos líneas arriba, se piensa que dentro de lo favorable no requieren tratamientos de aumento de resistencia, aun considerando otros factores que se dan, tales como: el sísmico, estructura errática que suelen tener este tipo de cimentaciones constituidas por mezclas heterogéneas de materiales de origen aluviales y coluviales, se puede manifestar que no deben efectuarse tratamientos en la cimentación, para aumentar el aumento de capacidad de resistencia para el presente proyecto, se recomienda inyectar la cimentación que tiendan a impermeabilizar con la finalidad de evitar los riesgos y a su vez optimizar las condiciones de la cimentación.

- b. Continuando con la profundidad a partir de los 4.5 m hacia abajo en la zona del cauce del río se emplaza una roca volcánica tufo volcanico, poco porosa, color anaranjado con manchas de color rosado, que de acuerdo a la evaluación de los parámetros geomecánicos indicados es clasificada como una roca Clase III (mediana) es decir que: su RQD está entre el 60 y 85%; su recuperación de muestra oscila entre los 70 a 95 % con algo de oxidación entre las fracturas y pequeño espaciamiento entre ellos y en cuanto a su resistencia en roca es de baja resistencia a la compresión uniaxial. en cuanto a su permeabilidad, las filtraciones se producen por medio de las fracturas y fisuras existentes en el macizo rocoso pero son poco permeables.

Litológicamente la roca es una tufo volcanico de textura porfirítica que consiste de fenocristales de andesina englobados en una matriz afanítica de ferro magnesianos, Clase III, impermeable en si, la porosidad que presenta se ha originado en la disolución de los granos de andesina, habiendo quedado intacta la matriz de ferromagnesianos.

Las características de permeabilidad y resistencia encontradas en la roca en si son de medianas a malas (Clase III tendientes a IV), en consecuencia es necesario mejorar estas condiciones en el macizo rocoso en la zona de los estribos principalmente el estribo izquierdo. Puede constituir una forma de mejorar estas deficiencias existentes en el macizo rocoso por ejemplo la aplicación de inyecciones de concreto para impermeabilización y consolidación.

#### 4.2.2.2. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos estándar y físico mecánicos se realizaron en el Laboratorio Geotécnico de la Empresa SOCONSA, los ensayos especiales como ensayo de compresión triaxial, ensayo para determinar la permeabilidad de los suelos y el material de relleno para el cuerpo de la presa según a los estándares de la ASTM, tales como:

- ❖ Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422
- ❖ Contenido de humedad ASTM D-2216
- ❖ Limite Líquido ASTM D-423
- ❖ Limite Plástico ASTM D-424
- ❖ Corte Directo con muestras Remoldeados ASTM D-3080
- ❖ Densidad Máxima y Mínima ASTM D-4254 y D-4253
- ❖ Ensayo de compresión triaxial tipo UU ASTM D-2850
- ❖ Ensayo de compresión triaxial tipo CU ASTM D-2851
- ❖ Ensayo de permeabilidad de pared flexible ASTM D-5084

#### 4.2.2.3. Clasificación de Suelos

Los suelos han sido clasificados de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), según se muestra en el siguiente cuadro y en las diversas zonas en que se ha realizado exploraciones para el proyecto definitivo:

**Tabla 40:** Clasificación de suelos

ZONA	CALICATA	SUELO TIPO
Eje de Presa	C-1, C-2, TR-1	SM, GW, Tufo Volcanico

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL VASO

#### 4.2.3.1. Trabajos de Campo

##### 4.2.3.1.1. Calicatas

Con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área de estudio fueron extraídas muestras para el posterior ensayo de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la zona de emplazamiento del sistema de agua potable y alcantarillado. En una primera investigación anterior, se ha realizado en total tres (03) calicatas a cielo abierto, distribuido convenientemente en el área de estudio, de las cuales sólo una se realizó en la zona de captación. La Tabla N° 41 describe las profundidades de cada calicata.

**Tabla 41:** Calicatas C-1

<b>CALICATA N°</b>	<b>PROF. (m.)</b>	<b>N- FREATICO (m)</b>
C-1	1.30	0.80

Fuente: Elaboración Propia

La profundidad de la calicata C-1 fue mínima dado que se encontró nivel freático de 0.80m. Así mismo se ejecutó una calicata adicional como parte de la investigación de estudio de cantera para material de construcción.

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales del terreno de fundación se llevaron para el detalle del proyecto a cabo investigaciones mediante la ejecución de calicatas y trincheras a “cielo abierto” de 0.80 m de profundidad mínima. Además de ensayos de penetración dinámica ligera DPL hasta la profundidad de 1.50m, en suelos finos. De los materiales encontrados en las calicatas se obtuvieron muestras disturbadas, las que fueron descritas e identificadas con la ubicación, número de muestra y profundidad; luego fueron colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Durante la ejecución

de los estudios de campo se llevó el registro de los espesores de cada una de las capas del sub-suelo, sus características de gradación y su estado de compacidad.

Las muestras de suelos fueron clasificadas y seleccionadas siguiendo el procedimiento descrito en ASTM D-2488 “Práctica Recomendada para la Descripción de Suelos”.

Se ejecutaron para la zona del eje de la presa un total de un (01) calicata y una (01) trinchera calicata, así como un (01) ensayo de penetración dinámica ligera

Para la zona del vaso de la presa se ejecutaron un total de seis (06) calicatas y tres (03) trincheras calicatas, así como ocho (08) ensayos de penetración dinámica.

**Tabla 42:** Vaso Presa de Retencion de Agua

CALIC. N°	PROF. (m.)	N.F. (m)	UBICACION	TIPO DE SUELO
C-1	1.50	--	Vaso de presa	cobertura con vegetación y raicillas con un estrato de arena limosa
C-2	1.50	--	Vaso de presa	Cobertura de relleno. Estrato presenta un material de arena con limo, color beige, húmedo, de compacidad compacta. a partir de 1.40 presenta filtraciones
C-3	1.00	--	Vaso de presa	Relleno de limo arenoso, estrato presenta un material de arena limosa, color beige, húmedo, de compacidad densa.
C-4	1.00	--	Vaso de presa	Presenta material aluvional, grava redondeada a subredondeada matriz arena media a gruesa, presencia de cantos, bolos y boleos.
C-5	0.80	--	Vaso de presa	Presenta el mismo material de la calicata c-4. grava aluvial. El nivel freatico es de 0.80m.
C-6	1.50	--	Vaso de presa	Presencia de arena mal graduada, material de grava menor de 2" con matriz arena media, de compacidad semidensa. nivel freatico a 0.60 m.
C-7	1.50	--	Vaso de presa	Presencia de grava redondeada a subredondeada con matriz arena media a fina, de compacidad semidensa, nivel freatico a 0.60m.
C-8	1.80	--	Vaso de presa	Cobertura vegetal, de limo orgánico, con presencia de raicilla. Estrato material de arena limosa, con grava, color beige, húmedo, de compacidad semidensa.
C-9	1.60	--	Vaso de presa	Cobertura vegetal de limo inorgánico, con presencia de raicillas. Estrato de arena limosa, con grava, con presencia de bloques aislados.

TR-1	0.50	--	Vaso de presa	Material de grava angulosa, con matriz arena fina limosa, consistencia firme y presencia de raicillas y vegetación.
TR-2	3.50	--	Vaso de presa	Cobertura vegetal, seguido de limo arenoso, semidensa, de baja humedad. Debajo material de grava redondeada a subredondeada con bolonería.
TR-3	3.00	--	Vaso de presa	Material de limo orgánico, húmedo, semidensa, con presencia de bolones y bloques menor de 40".

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3.1.2. Ensayos de Penetración DPL

Con la finalidad de complementar y reforzar la investigación de las calicatas, se realizaron ensayos de penetración usando el equipo DPL. La Tabla N° 43, describe las profundidades de cada DPL.

**Tabla 43:** Profundidad de cada DPL

DPL N°	PROF. (m.)
DPL-1	1.00
DPL-2	0.30
DPL-3	0.40
DPL-4	0.30
DPL-5	0.70
DPL-6	0.80
DPL-7	1.30
DPL-8	0.80

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3.1.3. Ensayos de densidad de campo

Se tomaron ensayos de campo para verificar la densidad natural en campo de los estratos representativos.

**Tabla 44:** Densidad de Campo

CALICATA	MUESTRA	PROF.	$y_t$	$y_d$
TR-3	M – 1	0.00-3.00	1.66	1.18
C – 2	M – 1	0.20-1.50	2.18	1.93

Fuente: Elaboración Propia

**4.2.3.1.4. Muestreo inalterado y disturbado**

Se tomaron muestras de cada uno de los tipos de suelos encontrados en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de clasificación y de identificación de los suelos. Se extrajo además, muestras representativas para el ensayo de corte directo sobre las muestras seleccionadas, el mismo que nos permitirá realizar el cálculo de la capacidad portante y evaluar los valores de empuje activo y pasivo para el diseño de muros (si estos son necesarios, así como los asentamientos por acción de la carga aplicada.

**4.2.3.1.5. Registro de excavaciones**

Paralelamente al muestreo se realizó el registro de cada una de las calicatas, anotándose las principales características de los tipos de suelos encontrados, tales como: espesor, humedad, tipo de grano, plasticidad, consistencia, granulometría, textura, color, etc.

**4.2.3.1.6. Ensayos de Permeabilidad in situ**

Para determinar el grado de permeabilidad de los materiales presentes en la zona de estudio se ha realizado el ensayo in-situ de permeabilidad, en las zonas de ubicación de las obras de saneamiento, de los datos registrados y evaluados se determina la permeabilidad del suelo de fundación en la zona del proyecto, así se tiene que en la zona de la presa de Huayllumayo se efectuaron cuatro (04) ensayos de permeabilidad in situ a cada entrada de la zona del vaso. Estos puntos de medición dieron por resultados valores de  $k$  de  $3.80E-03$  cm/seg (en la zona de la calicata C-

9),  $5.80E-03\text{cm/seg}$  en la zona de la margen derecha. En la zona de la margen izquierda las pruebas de permeabilidad son de  $1.57E-02\text{ cm/seg}$  (en la zona de la calicata C-1).

Este ensayo se ha realizado siguiendo los procedimientos de campo siguiendo el método de Hvorslev.

#### 4.2.3.2. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos estándar y físico mecánicos se realizaron en el Laboratorio Geotécnico de la Empresa Soconsa, según a los estándares de la ASTM, tales como:

- ❖ Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422
- ❖ Contenido de humedad ASTM D-2216
- ❖ Limite Líquido ASTM D-423
- ❖ Limite Plástico ASTM D-424
- ❖ Corte Directo con muestras Inalteradas ASTM D-3080
- ❖ Densidad Máxima y Mínima ASTM D-4254 y D-4253

#### 4.2.3.3. Clasificación de Suelos

Los suelos han sido clasificados de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), según se muestra en el siguiente cuadro y en las diversas zonas en que se ha realizado exploraciones para el proyecto definitivo:

**Tabla 45:** Clasificación de suelos vaso de presa

ZONA	CALICATA	SUELO TIPO
Vaso de Presa	C-1 a C-9, TR-1 a TR-2	GM, GP, GW, SM

Fuente: Elaboración Propia



#### 4.2.4. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

De acuerdo a los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio se describe el siguiente perfil de suelo y de acuerdo a las zonas investigadas, conformantes del proyecto en cuestión:

##### 4.2.4.1. Eje de Presa Huayllumayo

A lo largo del eje de la presa la estratigrafía varia, encontrando afloramiento de material de tufo volcánico en la margen derecha, aumentando de potencia el material aluvial dentro del cauce hasta una potencia de 4.5m, en la margen izquierda se ha encontrado material cuaternario de origen coluvial.

Margen derecha, en el estribo de esta margen aflora un macizo rocoso de tufo volcánico, de calidad regular a mala, con presencia de discontinuidades originadas por el enfriamiento del material volcánico, la coloración de este macizo es de color rosado con algunos óxidos, dentro del cauce apegado al estribo se ha encontrado material coluvial y de relleno debido a la presencia de la presa de concreto ciclopeo, la potencia de esta capa es de 1.20m, debajo encontramos el afloramiento del macizo de tufo volcánico.

Cauce del río, en esta zona se ha encontrado material de grava bien graduada, a mal graduada, con presencia de boleos redondeados, de características de buena dureza y durabilidad, se encuentra húmeda. El nivel freático es variable presentando superficialmente hasta 1.50m.

Margen Izquierda, esta zona esta compuesta por un relleno de cobertura vegetal de tierra de cultivo de aproximadamente 0.30m de espesor con presencia de raicillas, seguido de suelos arenosos limosos interactuados con gravas bien graduadas hasta una profundidad de 3.00m, en la que aparece roca alterada tipo tufo volcánico.

Se ha ejecutado tres perforaciones de con extracción de testigo de roca, se ha anotado la configuración estructural, mediante la evaluación del RQD, y la recuperación así como la caracterización de la litología del testigo.

#### 4.2.4.2. Vaso de Presa Huayllumayo

La zona del vaso de la presa en general comprende sectores superficiales de cobertura vegetal de material arenoso limoso hasta los 0.40m, seguido de una segunda capa de materia limoso con presencia de arena y grava, con tipos de suelos variables entre SM, GM, SP hasta una profundidad de 1.50, esta capa se encuentra intercalada por capas de mayor presencia de grava con tipos de suelos como GP, GW hasta una profundidad de 1.80 a 3.00 en donde aparece la roca alterada tipo tufo volcánico. Esta capa aparece en algunas zonas (Calicatas C-2 y C-3) en forma superficial. Alrededor de 5.00 a 6.00m aparece la toba volcánica.

La zona del vaso presenta en las márgenes izquierda y derecha similar composición: En la margen derecha se presenta una cobertura vegetal de limo orgánico, húmedo, con presencia de raicillas, hasta una profundidad de 0.50m. Esta capa esta intercalada con capas de material fino limoso, arenoso, con suelos tipo ML, SM Y SP con cierto porcentaje de grava hasta una profundidad de 2.00m. En las zonas de las calicatas C-7, TR-2 y C-8 se presentan suelos gravosos con matriz arena media, siendo los tipos de suelo GP, GP-GM, GM. Estas capas se prolongan hasta llegar a la roca arenisca. El nivel freático tiene una profundidad de 0.60m no apareciendo en la zona cercana del eje de la presa.

En la margen izquierda presenta similar perfil de suelos que la de la margen derecha siendo mayor la presencia de gravas con matriz de arena media a fina hasta una profanidad de 1.50 a 2.00m. La cobertura y las capas de material arenoso limoso superficiales solo se presentan en la zona de la calicata C-1. La roca alterada arenisca se presenta a partir de 1.50m.

El nivel freático alcanza profundidad de 0.80m, no apareciendo en la zona cercana del eje de presa. En la zona del vaso se detecta presencia de nivel freático en un promedio de 0.90m, apreciable en las calicatas C-1, C-4, C-5, C-6 y C-7.

#### 4.2.5. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo a los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio se describe el siguiente perfil de suelo y de acuerdo a las zonas investigadas, conformantes del proyecto en cuestión. El lugar del emplazamiento de la Presa Huayllumayo se encuentra sectorizada en tres zonas geotécnicas:

❖ La zona geotécnica I:

Se encuentra distribuida en la mayor parte del vaso y de las quebradas adyacentes consta mayoritariamente de un suelo de tipo aluvional, consistente en grava de forma subangulosa, subredondeada y redondeada, algo húmeda; cuya potencia varía de 1.50 a 2.00m. Este suelo típico se encuentra cubierto en algunas zonas por cobertura de suelos finos.

❖ La zona geotécnica II:

Se encuentra al lado del eje de la presa en su margen derecha, de menor área de extensión y rodeado en su totalidad por la zona I y III. Consiste mayormente en un material fino, limo con presencia de grava, con una potencia de 0.80 a 3.00m. La superficie consta de una cobertura vegetal del mismo material pero algo más orgánico.

❖ La zona geotécnica III:

Se encuentra distribuida a ambos márgenes de la presa y del vaso, en las zonas de mayor elevación, en las que aflora la roca tipo tufo volcánico. En algunas zonas la roca se encuentra alterada, meteorizada.

#### 4.2.6. CAPACIDAD DE CARGA: CIMENTACIÓN PRESA HUAYLLUMAYO

La evaluación de la capacidad de soporte del sub suelo está condicionada a tres factores fundamentales, tales como profundidad de la cimentación, características del suelo de soporte y tipo de cimentación a emplear.

##### 4.2.6.1. Tipo y Profundidad de la Cimentación

Según las características de la estructura, estas se cimentaran superficialmente y sobre la capa el afloramiento rocoso. Para los efectos del análisis de capacidad portante se considera para la zona del eje de la presa los siguientes niveles de cimentación:

Eje de la Presa  $D_f = 4.00 \text{ m}$  sobre suelo GP o Toba volcánica.

Esta profundidad de cimentación obedece a consideraciones de funcionalidad y a solicitaciones de la estructura ante fenómenos de inundación, sismo y tipo de suelo.

Se deberá cortar y/o reemplazar el material de cobertura vegetal ya que presenta algunos elementos de origen orgánico.

##### 4.2.6.2. Cálculo de la Capacidad Portante

Se ha evaluado la capacidad de soporte del suelo de cimentación para recibir los esfuerzos producidos por las estructuras principales, la cimentación será superficial. A la profundidad antes mencionada los cimientos se apoyaran sobre el material GP acondicionado, cuyos parámetros de resistencia (Modelo de Mohr-Coulomb) están dados por el ángulo de fricción interna del suelo, obtenidos a través del ensayo de corte directo de la muestra remoldeada.

Así, los resultados son mostrados a continuación:

**Tabla 46:** Parámetros de resistencia de eje de presa

Zona	Df	Angulo de fricción interna	CohesiónKg/c m <sup>2</sup>	Peso Volumétrico
Captación	4.00	36°	0.00	1.90

Fuente: Elaboración Propia

Considerando la teoría de Terzaghi, la capacidad Portante última modificada por Vesic es calculada de la siguiente ecuación:

$$Q_u = S_c * C * N_c + 0.5 * S_y * \gamma_2 * B * N_y + S_q * \gamma_1 * D_f * N_q$$

Donde:

Profundidad de Cimentación                      Df = 4.00m.

Ancho de Cimentación (corrida)                B = 100 m

Factor de seguridad                                F.S. = 3

Factores adimensionales de corrección:

$$S_c = 1.00$$

$$S_y = 1.00$$

$$S_q = 1.00$$

**Tabla 47:** Valores de parámetros de adimensionales de la fórmula de capacidad portante.

Zona	Df	Nc	Nq	Ny
Captación	4.00	50.59	37.75	56.31

Fuente: Elaboración Propia

Reemplazando valores en la ecuación anterior se obtiene los siguientes valores para los niveles establecidos:

**Tabla 48:** Valores de capacidad portante de la cimentación de la presa

Suelo GP a Df = 4.00 m				
Cimentación	B	longitud	Qad (kg/cm2)	Qs (kg/cm2)
Corrida	100	10	98.88	5.00

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.6.3. Cálculo del Asentamiento de la Presa Huayllumayo

Para la predicción de los asentamientos del terreno se hace uso de la formulación de la teoría elástica propuesta por Lambe & Whitman (1969), considerando el tipos de cimentación analizadas y el esfuerzo neto que transmite. Este asentamiento es calculado por la fórmula que se muestra continuación:

$$\sigma = \frac{q_s B (1 - u^2) I_w}{E_s}$$

Donde:

$\delta$  = Asentamiento (cm)

$q_s$  = Esfuerzo neto transmitido (Kg/cm<sup>2</sup>)

B = Ancho de cimentación (m)

$E_s$  = Módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>)

U = Relación de Poisson

$I_w$  = Factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la cimentación (Bowles, 1982), cm/m.

Reemplazando valores se obtiene el asentamiento elástico para el caso de cimentación corrida y rectangular (para las dimensiones antes dichas)

**Tabla 49:** Valores calculados de asentamiento elástico en la cimentación de la presa.

Suelo GP a Df = 4.00 m		
Cimentación	Qs (kg/cm <sup>2</sup> )	$\delta$ (cm)
Corrida	5.0	47.78

Fuente: Elaboración Propia

Estas deformaciones son permisibles para el tipo de estructura del proyecto, es decir, debido a que la presa es una estructura flexible los asentamientos considerados son conservadores.

#### 4.2.7. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR SIFONAMIENTO

El estado de sifonamiento es aquel estado en la cual la resistencia al corte del suelo es nula. El estado de sifonamiento en los suelos cohesivos no necesariamente se produce debido a que estos pueden poseer resistencia aún cuando las presiones efectivas sean nulas debido a la cohesión de estos suelos.

Existen dos casos en los que se produce el sifonamiento:

En un flujo ascensional cuando la fuerza de filtración es igual al peso sumergido.

Un impacto en ciertos suelos de baja compacidad que ocasiona una reducción en el volumen del esqueleto del suelo haciendo que la presión efectiva se transmita al agua de los poros.

Así el gradiente que produce el sifonamiento denominado “gradiente crítico” es igual al peso específico sumergido entre el peso del agua. Para el caso específico de las presas de material local (Presas de tierra o Enrocado), se puede establecer que

el gradiente crítico es igual a la pérdida de carga hidráulica al atravesar algún elemento de la presa (Delantal, núcleo, pantalla, etc.) dividido entre el ancho del elemento atravesado, esto en el caso mas simple en los otros casos también se puede aplicar la misma relación pero con ciertas variantes como se verá mas adelante .

Es muy práctico y confiable cubrir un gradiente hidráulico máximo en función del tipo de suelo.

#### 4.2.7.1. Metodología de cálculo

Para la Presa Huayllumayo se seguirá el siguiente procedimiento de cálculo:

Análisis del flujo de agua a través de la presa Huayllumayo.

Calcular el gradiente hidráulico crítico mediante el procedimiento indicado en el ítem siguiente.

Se utilizarán los factores de seguridad indicados en la Tabla N° 50

**Tabla 50:** Factor de seguridad

Clase de obra	Altura de la Presa (m)	Tipo de Suelo De la Cimentación	Ks
I	H > 100 H > 50	Rocosa No rocosa	1.25
II	50 < H < 100 25 < H < 50	Rocosa No rocosa	1.20
III	20 < H < 50 15 < H < 25	Rocosa No rocosa	1.15
IV	H < 20 H < 15	Rocosa No rocosa	1.10

Fuente: MVCS, 2012

- ❖ Para el cálculo del gradiente hidráulico crítico se utilizará las siguientes ecuaciones:



$$J_{\text{cri}} = 275 \varphi_0 d_5 \sqrt{\frac{n}{K}}$$

Ecuación 4.01

$$\varphi_0 = 0.60 \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_w} - 1 \right) f_0 \text{sen} \left( 30^\circ - \frac{\theta^\circ}{8} \right)$$

Ecuación 4.02

$$f_0 = 0.82 - 1.8n + 0.0062(C_u - C_c)$$

Ecuación 4.03

$$n = \frac{e}{1+e}$$

Ecuación 4.04

Donde:

$J_{\text{cri}}$  : Gradiente hidráulico crítico.

$\Phi_0$  : Coeficiente de la velocidad crítica.

$\gamma_d$  : Peso específico seco (gr/cc).

$\gamma_w$  : Peso específico del agua (gr/cc).

$n$  : Porosidad.

$e$  : Relación de vacíos.

$f_0$  : Coeficiente de fricción referencial

$\theta^0$  : Angulo entre la dirección de la velocidad de filtración y Fuerza de gravedad.

K : Coeficiente de permeabilidad (cm/s).

- ❖ Se ajustará los valores obtenidos, en caso que se obtengan resultados desfavorables, se cambiará las dimensiones de los elementos para una segunda prueba hasta tener las dimensiones adecuadas que permitan obtener un factor de seguridad óptimo.
- ❖ Los valores del gradiente admisible se debe encontrar entre los límites dados la Tabla N°51:

**Tabla 51:** Valores del gradiente admisible

Tipo de suelo	(Jc)a			
	I	II	III	IV
<b>Para el material De la cimentación</b>				
<b>Arcilla densa</b>	0.90	1.00	1.10	1.20
<b>Tierra arcillosa</b>	0.45	0.50	0.55	0.60
<b>Arena gruesa</b>	0.36	0.40	0.44	0.48
<b>Arena media</b>	0.30	0.33	0.36	0.40
<b>Arena fina</b>	0.23	0.25	0.27	0.0
<b>Par el material Del cuerpo de presa</b>				
<b>Arcilla densa</b>	1.50	1.65	1.80	1.95
<b>Tierra arcillosa</b>	1.05	1.15	1.25	1.35
<b>Arena gruesa</b>	0.70	0.80	0.90	1.00
<b>Arena media</b>	0.55	0.65	0.75	0.85
<b>Arena fina</b>	0.45	0.55	0.65	0.75

Fuente: MVCS, 2012

**4.2.7.2. Procedimiento del cálculo gradiente hidráulico admisible**

El cálculo se realizará solo para la cimentación debido a que el cuerpo de presa por ser del tipo rocoso con matriz fina no es potencial al sifonamiento.

**a. Cálculo del Gradiente hidráulico crítico**

Con las ecuaciones 4.01, 4.02, 4.03 y 4.04 se evalúa en la Tabla N° 52

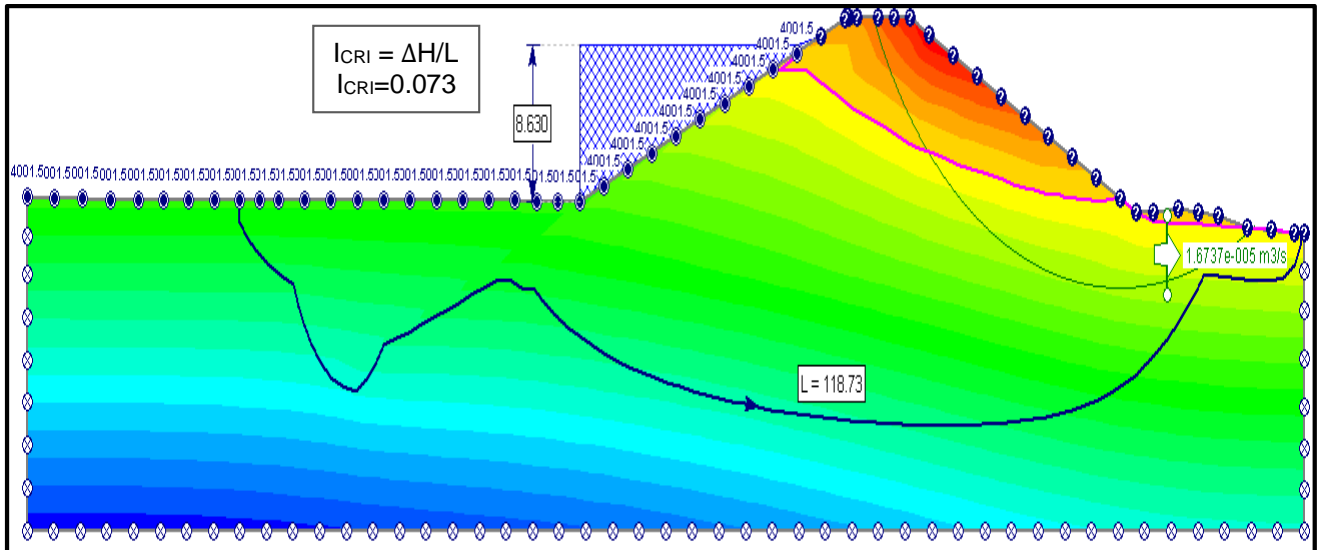
**Tabla 52:** Cálculo del gradiente hidráulico crítico

ESPECIFICACIÓN	VALOR	$\Phi_0$	$J_{cri}$
$\Theta^0$	90	0,042	4.7
e	0,60		
n	0,38		
P.e (seco)(gr/cc)	1.90		
Pw (gr/cc)	1.00		
$d_5$ (cm)	0,029		
K (cm/s)	0,0009		
$f_0$	0,24		

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos que siguen a continuación están basados en los estudios realizados por el Dr. Chugaev (1992), el cual también está relacionado con los trabajos de Bligh (1910) y Lane (1935).

La figura líneas abajo representa el esquema de cálculo de la gradiente de control o gradiente admisible cuya leyenda es el siguiente:



**Figura 9:** Esquema de cálculo de la gradiente de control

$$L_{cal} = 118$$

Luego:

$$J_c = \Delta h / L_{cal}$$

$$J_c = 0.073$$

El factor de seguridad sería en este caso:

$$K_s = J_{cri} / J_c$$

$$K_s = 64$$

El factor de seguridad por sifonamiento es igual a 64 valor que resulta mayor a los valores dados en la Tabla N° 52, luego no es posible el sifonamiento en la presa Huayllumayo.

El valor del gradiente hidráulico de control esta dentro de los valores establecidos en la Tabla N° 51, como se había previsto.

#### 4.2.8. GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD Y PROBABILIDAD DE RIESGO

La clasificación de riesgos en presas de tierra para retención de agua tiene por objetivo principal definir los criterios del proyecto normalmente relacionado con eventos extremos, tales como alta precipitación y eventos sísmicos. Adicionalmente puede también ser utilizados para determinar estudios más profundos en casos de presas de mayor altura con mayor potencial de daño, o requiere supervisión y monitoreo frecuente asegurando la serviciabilidad de estas estructuras.

Así mismo para presas de tierra de grandes alturas con gran potencial de daño, organismos internacionales recomiendan la precipitación máxima probable en el dimensionamiento de obras hidráulicas de descarga, en el caso de zonas de regiones sísmicas el análisis adoptado será con el máximo sismo creíble.

Usando el criterio de clasificación de U.S. Corp of Engineers, se tiene:

##### a. Capacidad de la presa de tierra

**Tabla 53:** Capacidad de la presa de tierra

<b>Categoría</b>	<b>Volumen del reservorio (Mm3)</b>	<b>Altura de presa</b>
Pequeña	0,061 – 1,233	7,6 – 12,2
Intermedia	1,233 – 61,674	12,2 – 30,5
Grande	> 61,674	> 30,5

Fuente: Froilan, 2014.

**b. Capacidad de potencial de daño**

**Tabla 54:** Capacidad de potencial de daño

<b>Categoría</b>	<b>Pérdidas de vidas humanas</b>	<b>Perdidas económicas</b>
Bajo	Poca esperada (mínimas estructuras permanentes para habitación humana)	Mínimas (Estructuras ocasionales, o agrícolas)
Significante	Pocas (Poco urbanizado, estructuras habitables)	Apreciables (estructuras, industria o agricultura extensiva)
Alto	Apreciables	Excesivas (agricultura, industria o población extendida)

Fuente: Froilan, 2014

Según el proyecto de la presa Huayllumayo presenta las siguientes características

**Tabla 55:** Características de la Presa

<b>Presa</b>	<b>Volumen del reservorio (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Altura</b>	<b>Perdidas de vidas humanas</b>	<b>Perdidas económicas</b>
Huayllumayo	3.0	25 m	Muy Pocas	Mínimas

Fuente: Elaboración Propia

El criterio recomendado para evaluación de riesgo la presa se clasifica como:

**Tabla 56:** Riegos de la presa

<b>Presa</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Potencial de daño</b>
Huayllumayo	Mediana	Mínimo

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la evaluación del proyecto de clasificación de presas de tierras se adoptara el procedimiento de la U. S. Corps of Engineers, para recomendaciones de criterios de adopción de eventos extremos del proyecto para asegurar la estabilidad y minimizar el riesgo a condiciones mínimas de riesgo.

**Tabla 57:** Características del daño de la presa

Potencial de daño	Capacidad	Evento extremo de diseño tiempo de retorno
Bajo	Pequeño	50 a 100 años
	Intermedio	100 años a ½ PMF
	Grande	½ PMF a PMF
Regular	Pequeño	100 años a ½ PMF
	Intermedio	½ PMF a PMF
	Grande	PMF
Alto	Pequeño	½ PMF a PMF
	Intermedio	PMF
	Grande	PMF

Fuente: Díaz, María y Migdelis, 2009

Adicionalmente se considerara la implementación de un borde libre de 2.00m con el fin de mantener el nivel máximo del agua de la presa dentro de bajo riesgo.

#### 4.2.9. EVALUACIÓN DE SALES EN EL SUELO DE CIMENTACIÓN

La evaluación de sales en el suelo de cimentación se ha estimado en base a los resultados de ensayos realizados en la Universidad Nacional Agraria La Molina

**Tabla 58:** Evaluación de sales de cimentación

N° Muestra	Muestra	Prof.	S.S.T. (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)
1133	Captación Agua	1.50	100.00	13.92

Fuente: Elaboración Propia

Los que indican una leve concentración de sales y sulfatos en la zona de captación (zona de presa), lo que implicaría un ataque leve de los agentes químicos del suelo; usándose acá Cemento Pórtland tipo I.

En la zona de la cantera se detecta leve cantidad de sulfatos si embargo la cantidad de sales solubles totales se acerca al grado permisible por lo que se recomienda aumentar la resistencia del concreto en caso de usarse este material como componente del concreto para las obras.

#### **4.2.10. CANTERAS**

Se ha identificado tres canteras para agregados y de piedra en las proximidades de la presa, dado su volumen y calidad.

##### **4.2.10.1. Canteras Agregado Huayllumayo**

Se ha identificado agregados aptos para construcción y su uso para concreto en el lecho del río Huayllumayo, que se encuentra aguas abajo del eje de presa propuesto, desde aproximadamente 300 m hasta cerca del encuentro con el río Apurímac, donde el espesor de estos depósitos fluviales, puede llegar a ser superior a 4m, que sin embargo no será recomendable profundizar tanto en su explotación. Se ha estimado una longitud de 1500 m y un ancho medio de 100 m, con una profundidad media de 1 m, se tienen más de 113 000 m<sup>3</sup> considerando una pérdida de 20% por bolones mayores a 3".

Se adjunta un plano de canteras





**Foto 4:** Canteras de agregado en el Rio Huayllamayo aguas abajo del eje de presa propuesto(GOOGLE AEARTH).

#### 4.2.10.2. Canteras de Piedra

Las canteras de piedra identificadas se encuentran en dos formas: Sueltas dispersas en las zonas laterales del rio Huayllamayo, principalmente en la margen izquierda en forma de depósitos coluviales que no requieren de voladura, sino solamente de excavación y selección con maquinaria.

Roca de más de 0.50 m diámetro hasta 2 m de diámetro. Se trata de bolones y bloques que se hallan en grandes cantidades, cuyos resultados de compresión superan los 130 kg/cm<sup>2</sup> y 270 kg/cm<sup>2</sup>, que lo hacen aptos para su uso como material de construcción de este tipo de presas de enrocado. El volumen existente es muy vasto, la litología es principalmente de tobas volcánicas soldada, y que requieren de explosivos para su explotación.

Se encuentran a una distancia de 400 y 500 m de la presa y sus cantidades superan con creces la demanda para la presa.

**Tabla 59:** Volúmenes de material en canteras

	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ESPESOR POTENCIAL ESTIMADO (m)	VOLÚMEN ESTIMADO (m <sup>3</sup> )	% DE PERDIDA (m <sup>3</sup> )		VOLUMEN EFECTIVO ESTIMADO (m <sup>3</sup> )
AGREGADOS	50318	2.5	125795	10%	12579.50	113215.50
PIEDRA SUELTA	7901	3.5	27653.5	30%	8296.05	19357.45
ROCA SUELTA	1389	6	8334	5%	416.70	7917.30

Fuente: Elaboración Propia

Como dijimos, existe además una gran masa de roca volcánica que puede explotarse en las proximidades de la presa con uso de explosivos.

#### 4.2.11. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA Y DISEÑO DE TALUDES

##### 4.2.11.1. Método de cálculo

Para el análisis de la estabilidad de los taludes de la presa se ha utilizado las secciones transversales de la topografía proyectada y el programa de cómputo SLIDE (Rocscience Inc, 1989-2003) versión 5. Este programa de cómputo permite realizar el análisis de estabilidad de taludes a través del cálculo del Factor de Seguridad. Este es un programa completamente integrado, que permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y realiza el análisis de estabilidad taludes de deslizamiento circular y no circular en suelos o rocas con diferentes métodos, tales como el método de Bishop Simplificado, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price y otros métodos de análisis.

El análisis para calcular el Factor de Seguridad se lleva a cabo bidimensionalmente usando el concepto de equilibrio límite y empleando diversos métodos. El programa puede ser usado para determinar la superficie circular o no circular potencial de falla más crítica, correspondiendo a un menor factor de seguridad del análisis.

Este programa está programado para manipular:

- ❖ Sistemas homogéneos o heterogéneos del suelo.
- ❖ Propiedades anisotrópicas de resistencia de suelos.
- ❖ Reforzamiento de taludes.
- ❖ Envolvente de resistencia Mohr-Coulomb, no lineal, Barton, Hoek y otros modelos de resistencia.
- ❖ Presiones de poros del agua para el análisis de esfuerzos efectivos.
- ❖ Superficies freáticas
- ❖ Factor  $R_u$ , presión de poros como fracción de la presión vertical total del terreno dentro del talud
- ❖ Presión de poros del agua constante
- ❖ Carga pseudo-estática
- ❖ Sobrecarga actuantes sobre taludes.
- ❖ Generación automática y análisis de un número limitado de superficies de falla circulares, no circulares y en forma de bloques.
- ❖ Análisis probabilístico de estabilidad de taludes.
- ❖ Unidades tanto en el sistema internacional, como el sistema inglés.

**4.2.11.2. Factores de seguridad mínimos**

Para el caso de presas de tierra el U.S. Corp of Enginners propone que los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable, son aquellos propuestos en la Tabla N° 60.

**Tabla 60:** Factores de Seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad en Presas de Tierra

CONDICION	Talud Aguas Arriba	Talud Aguas Abajo
I) Al final de la construcción para presas de más de 15m.	1.3	1.3
II) Estado de infiltración constante	--	1.5
III) Desembalzo rápido	1.5	--
IV) Sismo - Solo condiciones I y II	1.0	1.0

Fuente: Briones, 1994

#### 4.2.11.3. Análisis del Talud de la Presa Huayllumayo

Se han realizado los análisis de estabilidad de los taludes para determinar el *Factor de Seguridad* en condiciones estáticas y seudo estáticas teniendo en cuenta las condiciones proyectadas del talud de la presa con la influencia de nivel freático. En tal sentido se ha considerado una sección crítica de análisis.

**Tabla 61:** Evaluación de taludes

SECCION	CONDICION DE ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD CALCULADO	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO ACEPTABLE
Talud Aguas Arriba- Al Final de la Construcción	Estático	2.7	1.3
	Seudo-Estática a=0.15g	1.5	1.0
Talud Aguas Abajo- Al Final de la Construcción	Estático	1.3	1.3
	Seudo-Estática a=0.15g	1	1.0
Talud Aguas Abajo- Infiltración Constante	Estático	2.2	1.5
	Seudo-Estática a=0.15g	1.6	1.0
Talud Aguas Arriba- Desembalse Rápido	Estático	1.5	1.5

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la Tabla N° 61, la condición de los taludes es estable, donde los *Factores de Seguridad* son mayores de los mínimos recomendados.

Según los valores obtenidos en el análisis por equilibrio límite, estos están muy por encima de los valores recomendados, un factor de seguridad mayor que uno no significa que la cresta de la presa no se moverá sino que los valores de desplazamiento estarán dentro de los límites permisibles.

#### 4.2.11.4. Diseño de Taludes

El diseño de los taludes de la presa se basa en las siguientes consideraciones:

- ❖ En los análisis de estabilidad del taludes críticos efectuados en los numerales anteriores.
- ❖ En la práctica usual de construcción de pequeñas presas.
- ❖ Configuración topográfica encontrada.

La presa, estará conformado por dos taludes, uno aguas arriba y otra aguas abajo, cuyas inclinaciones son menores del ángulo de reposo. La altura promedio de los taludes es de 12m y la inclinación aguas arriba es 2.5H:1V, y aguas abajo 2H:1V. Los que se alcanzara mediante trabajos de movimientos de tierra realizados con maquinaria.

#### 4.2.12. DISEÑO DE LA PRESA

##### 4.2.12.1. Principales aspectos del diseño

##### 4.2.12.1.1. Ubicación del eje

El eje de la presa se ubica aproximadamente a 71 m aguas abajo del actual eje de presa propuesto cuyas coordenadas en sus extremos son:

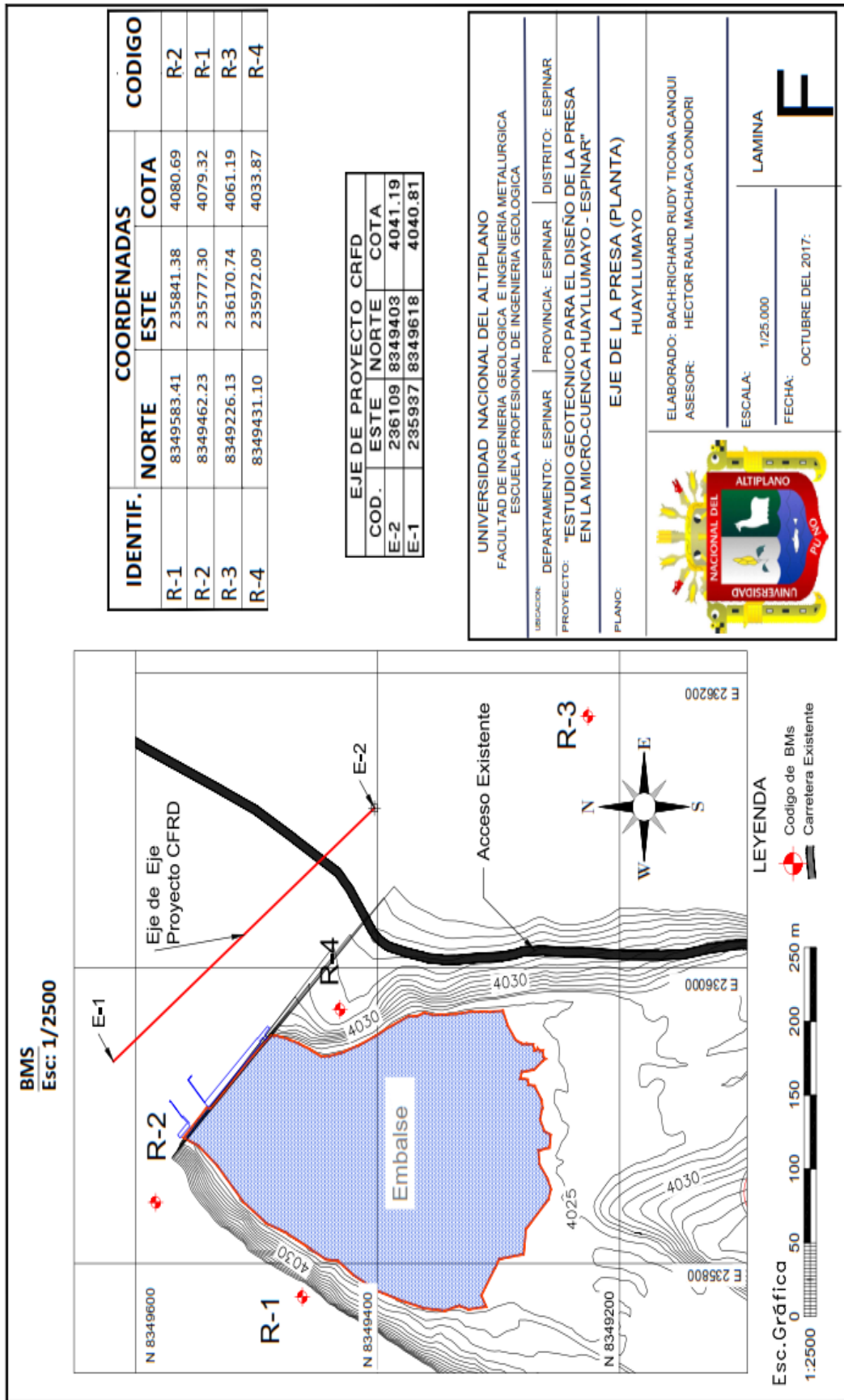
**Tabla 62:** Coordenadas del eje de presa propuesto – Presa

Descripcion	Código	Norte	Este
Eje de presa CFRD	A	235942.50	8349622.40
	B	236109.23	8349401.87

Fuente: Elaboración Propia

El desplazamiento del eje se muestra en el grafico siguiente:





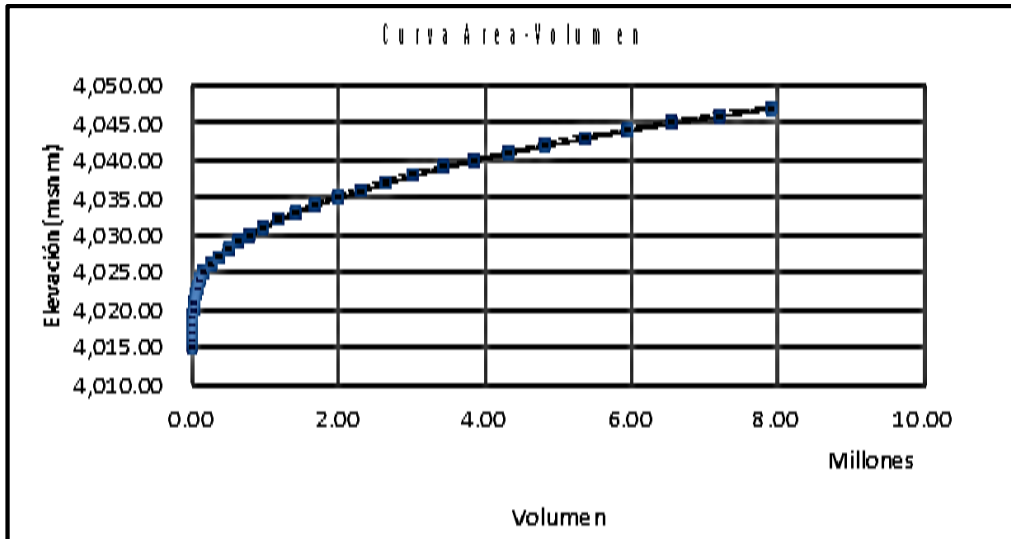
4.2.12.1.2. Curva altura – area – volumen

A partir del plano topográfico del vaso de almacenamiento proyectado, se ha elaborado el cuadro de su capacidad altura volumen mostrado en la tabla y curva inferiores.

**Tabla 63:** Curva Altura – Volúmen de Presa Proyectada

ALTURA NETA	TERRENO			BATIMETRIA		TOTAL	
	H (msnm)	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	V (ARCGIS) m <sup>3</sup>	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )
0	4,015.00	0.00	0.00			0	0
1	4,016.00	243.65	116.20			243.65	116.20
2	4,017.00	1,073.54	958.50			1,073.54	958.50
3	4,018.00	2,890.00	2,763.50	2.44	0.00	2,892.53	2,763.50
4	4,019.00	4,465.84	6,493.60	60.94	35.57	4,526.78	6,529.17
5	4,020.00	5,204.96	11,345.90	2,393.61	445.79	7,598.57	11,791.69
6	4,021.00	5,842.13	16,892.50	9,437.20	6,506.16	15,279.33	23,399.10
7	<b>4,022.00</b>	<b>6,300.18</b>	<b>22,964.00</b>	<b>17,680.45</b>	<b>20,150.55</b>	<b>23,980.63</b>	<b>43,114.55</b>
8	<b>4,023.00</b>	<b>6,706.55</b>	<b>29,467.40</b>	<b>25,293.39</b>	<b>41,707.79</b>	<b>31,999.94</b>	<b>71,175.19</b>
9	4,024.00	7,068.96	36,354.00	34,662.59	71,343.89	41,731.55	107,697.89
10	4,025.00	25,355.41	49,474.30	43,739.83	102,541.16	68,095.24	152,015.46
11	4,026.00	79,366.99	119,593.40	45,709.16	148,245.09	125,076.15	267,838.49
12	4,027.00	105,212.24	216,151.10			150,921.40	364,396.19
13	4,028.00	129,267.95	336,283.00			174,977.11	484,528.09
14	4,029.00	147,091.60	476,045.10			192,800.76	624,290.19
15	4,030.00	172,000.45	639,332.94			217,709.61	787,578.03
16	4,031.00	196,476.03	826,784.26			242,185.19	975,029.35
17	4,032.00	221,306.21	1,038,377.93			267,015.37	1,186,623.02
18	4,033.00	248,469.90	1,275,487.48			294,179.06	1,423,732.57
19	4,034.00	276,964.99	1,540,337.86			322,674.15	1,688,582.95
20	4,035.00	304,841.93	1,833,469.61			350,551.09	1,981,714.70
21	4,036.00	332,261.50	2,154,197.23			377,970.66	2,302,442.32
22	4,037.00	358,875.19	2,501,541.53			404,584.35	2,649,786.62
23	<b>4,038.00</b>	<b>386,312.40</b>	<b>2,875,212.26</b>			<b>432,021.56</b>	<b>3,023,457.35</b>
24	4,039.00	414,896.72	3,277,427.41			460,605.88	3,425,672.50
25	4,040.00	447,609.14	3,710,299.17			493,318.30	3,858,544.26
26	4,041.00	480,897.56	4,176,539.23			526,606.72	4,324,784.32
27	4,042.00	517,019.63	4,678,712.91			562,728.79	4,826,958.00
28	4,043.00	557,434.61	5,218,408.30			603,143.77	5,366,653.39
29	4,044.00	594,876.03	5,796,711.58			640,585.19	5,944,956.67
30	4,045.00	633,263.24	6,413,481.05			678,972.40	6,561,726.14
31	4,046.00	672,038.82	7,067,658.74			717,747.98	7,215,903.83
32	4,047.00	711,869.72	7,761,548.31			757,578.88	7,909,793.40

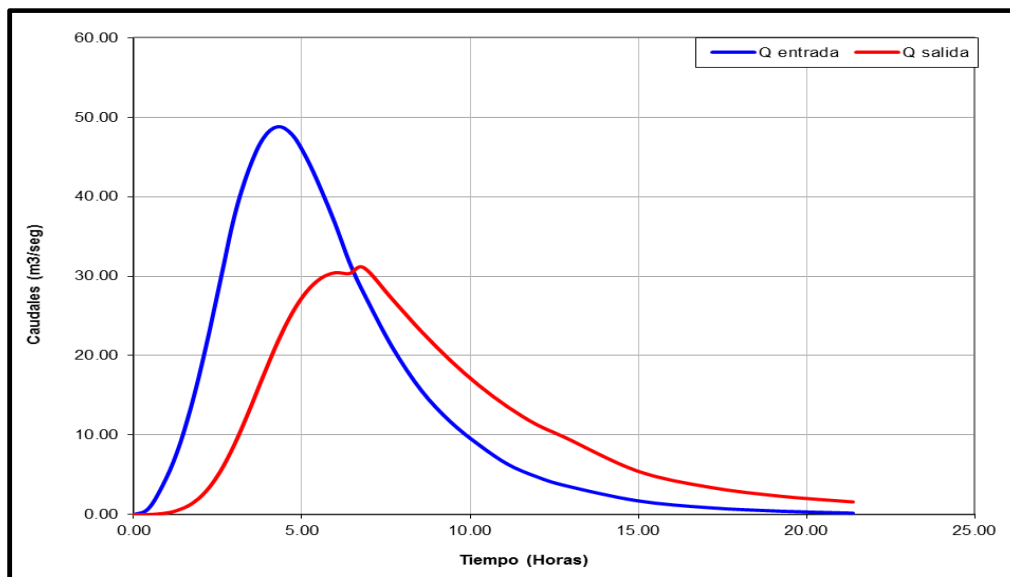
Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 3:** Curva Altitud VS Volumen - Vaso Huayllumayo

De acuerdo a los criterios analizados se ha tomado como una máxima avenida hasta un pico de 48.85 m<sup>3</sup>/s.

De ocurrir el caudal máximo pico (en el hidrograma de entrada), se obtiene un tirante en el vertedero de 1.07 m, para un caudal pico de salida de 31.07 m<sup>3</sup>/s. El gráfico que contiene los hidrogramas de entrada y salida se muestran a continuación:



**Gráfico 4:** Transito de avenidas - Vaso Huayllumayo



#### 4.2.12.1.3. Determinación del borde libre

Se estimó la altura de las olas en el umbral del vertedero de excedencias con varios métodos. Teniendo en cuenta que hay valores semejantes entre el método Procedimiento de la ex Comisión federal de electricidad de México y Método de V.I. Ziparro y H. Hazen cuyos valores se encuentran próximos al límite superior del US Bureau of Reclamation.

Sobre la altura de oleaje de un promedio de 1.44 m y considerando una altura máxima por el caudal máximo de 1.07 m se requeriría una altura mínima de 2.51 m, por consiguiente se determina Bordo libre de 2.5 m.

#### 4.2.12.1.4. Volumen muerto, volumen mínimo de operación y volumen de embalse

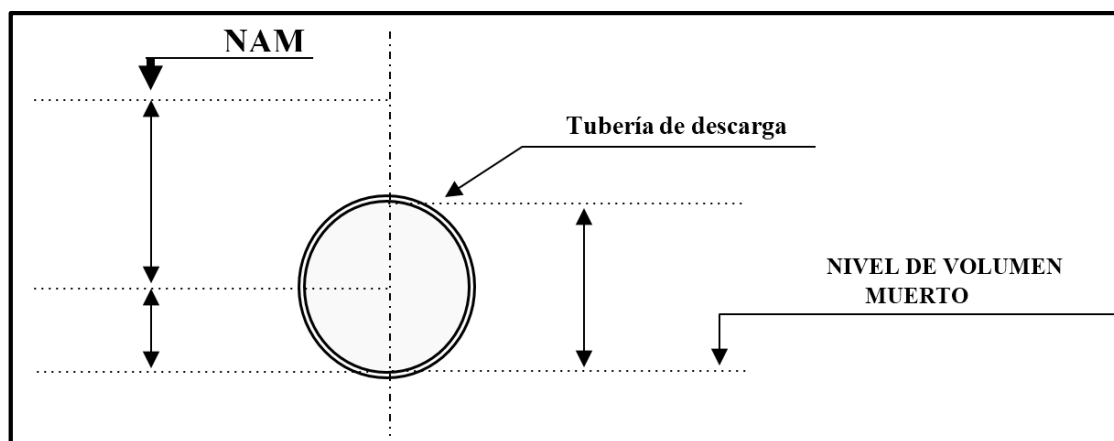
##### A. Volumen muerto (NM)

De acuerdo a los estudios geológicos realizados en el ámbito de embalse de la laguna Huayllumayo, se concluye que el volumen máximo de sedimentación no es significativo, sin embargo, se asume como volumen muerto igual al volumen de operación del actual represamiento depositado desde 1994 de aproximadamente 22,659 m<sup>3</sup>, teniendo una tasa anual de 1,030 m<sup>3</sup>/año; es decir que para 50 años se tiene un volumen de sedimentos de 51,498 m<sup>3</sup>.

El volumen muerto para un el volumen de sedimentos que según la Curva altura – area – volumen, significa una altitud de 4,022.30 m s.n.m.

##### B. Volumen mínimo de operación (NAMINO)

El volumen mínimo de operación, deviene de la necesidad de operar convenientemente la descarga de los caudales a través de la tubería de salida. Para evacuar un caudal de 180 l/s se requiere una altura de carga ( $H_c$ ) de 0.70 m.



**Figura 11:** Esquema de operación - NAMINO - Presa Huayllumayo

Considerando la  $H_c = 0.70$  y  $D = 0.40$  m, el Nivel aguas mínimo de operación (NAMINO) está a una altitud de 4023.20 m s.n.m. Esta altura efectiva entre el NAMINO y NM significa un volumen de 3,457 m<sup>3</sup>.

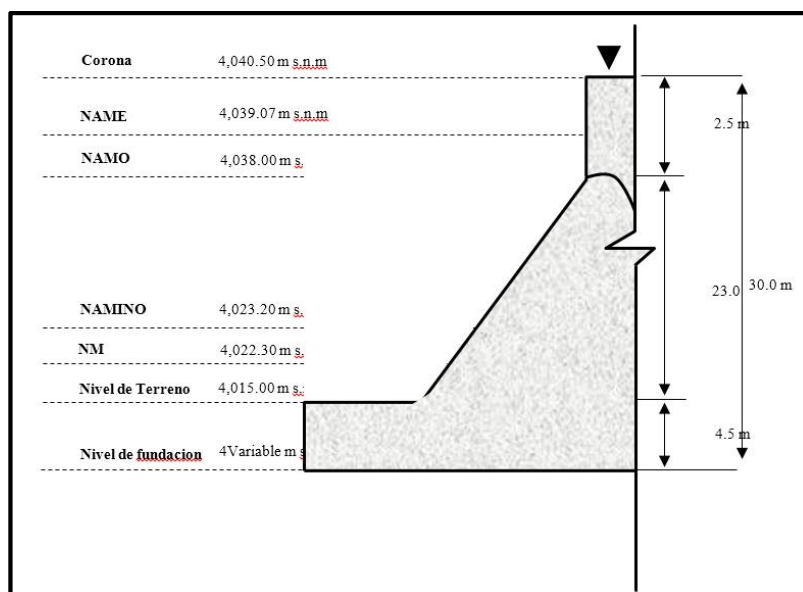
### C. Determinación del volumen del embalse y altura de la presa (operación del embalse)

Según la demanda de agua poblacional para el año de madurez del proyecto se ha previsto una población de 82,500 habitantes, y realizando la operación de la presa se requiere un volumen de 3 MMC.

Este volumen acumulado con el volumen muerto, volumen entre el NAMINO y NM, significa un volumen de 3,023,457 m<sup>3</sup>, que según la Curva Altitud – Área – Volumen significa altitud de 4,038 m s.n.m.

#### 4.2.12.1.5. Determinación de los niveles de operación del embalse

Con los volúmenes de operación, anteriormente indicados, el cálculo del tirante ocurrida la máxima avenida (caudal pico), el bordo libre calculado, los desplantes máximos de cimentación en la sección central (Ver estudio Geológico y Geotécnico), y la altura mínima de carga para la operación de la tubería de descarga, los niveles de operación y alturas de la presa se detallan en el siguiente esquema:



**Figura 12:** Resumen de niveles de operación y alturas de presa

#### 4.2.12.1.6. Presa del Tipo CFDR

Las presas de escollera con pantalla de hormigón son uno de los tipos de presas cuya construcción se ha extendido en los últimos años, debido a la sencillez en la construcción, así como a su excelente comportamiento ante las solicitaciones sísmicas.

La construcción de este tipo de presas es idónea en sitios en donde:

- Haya disponibilidad de canteras de rocas cercanas
- Inexistencia de materiales de baja permeabilidad para la construcción del núcleo

En caso de que la cimentación de la presa se produzca sobre materiales granulares de grano grueso (gravas) pueden darse grandes caudales de filtración, debiéndose tomarse precauciones especiales para asegurar la impermeabilización o asumir la pérdida de caudales por infiltración dentro de un rango establecido.

#### 4.2.12.2. Presa del Tipo CFRD – Prediseño presa Huayllumayo

Una presa de escollera es un dique formado por rocas de diversos tamaños que componen el elemento que proporciona estabilidad, y una pantalla impermeable que le proporciona estanqueidad.

Las condiciones que han de cumplir los cimientos de una presa de escollera son menos severas que para una presa de hormigón, pero más que para una presa de tierra. Las presas de escollera necesitan unos cimientos que den unos asientos mínimos.

Pantalla impermeabilizante debe establecer una estanqueidad adecuada aguas arriba de la presa para evitar la máxima filtración posible por debajo de ella.

##### 4.2.12.2.1. Características y datos básicos

❖ Corona	: 4040.50 m.s.n.m.
❖ Nivel de agua máximo extraordinario (NAME)	: 4039.07 m s.n.m.
❖ Nivel de agua máximo ordinario (NAMO)	: 4038.00 m.s.n.m
❖ Talud Aguas Arriba	: 2.5 H: 1.0 V
❖ Talud Aguas Abajo	: 2.0 H: 1.0 V

##### 4.2.12.2.2. Ancho de coronamiento

Frecuentemente el ancho del coronamiento está regido por las necesidades de lugar requeridas por los procedimientos constructivos y las condiciones de acceso a los sitios de trabajo terminales.

Se optó por un ancho de coronación de 6.0 m en toda la longitud de la presa, tomando en cuenta la Instrucción para el Proyecto de Presas, española del año 1967.

#### 4.2.12.2.3. Componentes de la Presa

##### a. Cuerpo de la presa:

El material de esta zona será enrocado, de buenas características drenantes, colocadas en capas de aproximadamente de 0,50 a 1,00 m de espesor.

La zona de cuerpo de presa provee el principal soporte para la pantalla de concreto, compactándose para obtener altos módulos de compresibilidad con el fin de limitar el asentamiento producidos en la pantalla de hormigón debido al empuje hidrostático del embalse.

Los materiales por emplear en la construcción de pedraplenes pueden proceder de la excavación de la explanación o de fuentes aprobadas y serán cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

Deberán además cumplir entre otros, con los siguientes requisitos:

##### Granulometría

El tamaño máximo no deberá ser superior a los 2/3 del espesor de la capa compactada.

Los materiales pétreos empleados tanto en la transición como en las capas sucesivas del cuerpo del pedraplén, deben satisfacer las siguientes relaciones:

$$\frac{I_{15}}{S_{85}} \leq 5$$
$$\frac{I_{50}}{S_{50}} \leq 25$$
$$5 \leq \frac{I_{15}}{S_{85}} \leq 40$$

Siendo *li* la abertura del tamiz por el cual pasa el *i* por ciento en peso del material de la capa inferior, *Si* la abertura del tamiz por el cual pasa el *i* por ciento en peso de material de la capa superior y *Di* el diámetro por el cual pasa el *i* por ciento en peso del material.

Así mismo deben tener un coeficiente de uniformidad ( $D_{60}/D_{10}$ ) inferior a 20, según la granulometría propuesta se tiene en promedio un Coeficiente de uniformidad de 4.5

La granulometría debe cumplir con las siguiente especificaciones

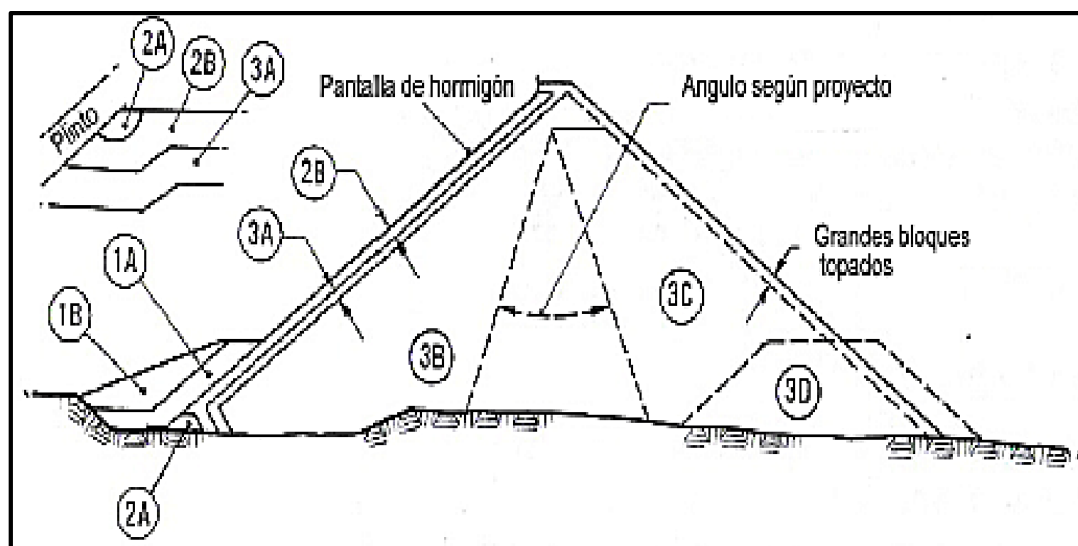
- ❖ El Tamaño máximo de partícula deberá ser tal que pueda ser incorporado en cada capa y provea una superficie relativamente llana para la compactación.
- ❖ Un máximo del 20% del peso del enrocado debe ser más fino que la malla N°4 (4.76mm).
- ❖ Un máximo del 20% del peso del enrocado debe ser más fino que la malla N°200 (0.075mm).

**Tabla 64:** Distribucion granulometrica de materiales del cuerpo de pedraplen ha ser extraidos de la cantera de rocas.

Partículas > 3"	Partículas < 3" y > Malla N° 4	Partículas < Malla N° 4 y > Malla N° 200	Partículas < Malla N° 200
85	10	2	3

Fuente: Elaboración Propia

Para este caso concreto, la granulometría recomendada para el cuerpo de presa, sería aquella que estuviera comprendida entre 5 y 25" (pulgadas), asumiéndose tales tamaños como los datos considerados para la realización de los cálculos de estabilidad.



**Figura 13:** Características generales de una presa de escollera según ICOLD (Boletín 141,2006).

Según este organismo estas serían:

- ❖ **Zona 3B:** Generalmente los materiales adecuados para esta zona son escolleras cuyos tamaños máximos sean del orden de 1 m., dimensión que fija la altura de colocación de las capas, compactadas con pasadas de rodillo liso vibratorio. El número de pasadas se suele fijar con ensayos en que se evalúa el asentamiento medio de la superficie de la capa de escollera a intervalos de 2 a 12 pasadas. Durante la colocación se agrega agua en la proporción del 10 al 25% del volumen de la roca. El aumento de la compactación, el uso de capas más delgadas y el humedecimiento del material son métodos que permiten obtener una densidad satisfactoria en presencia de roca de poca resistencia.
  - ❖ **Zona 3C:** Esta zona generalmente está compuesta por escollera cuya tamaño máximo es de hasta 2 m. Tal material es colocado en capas de 2 m compactadas con pasadas de rodillo vibratorio. El espesor de capa y el número de pasadas para su comparación es determinado de manera semejante a lo dicho para la zona 3B.
- Ante estas premisas y dado que los materiales empleados en la construcción del cuerpo del pedraplén satisfacen los requerimientos según Sherard&Cooke (1987), en cuanto a cantidad máxima de partículas finas (Partículas < Malla N° 4 y > Malla N° 200 y Partículas < Malla N° 200) y dado que el propio documento

(Boletín ICOLD 141,2006), sugiere que la anterior zonación básica puede "adaptarse" a los materiales disponibles en un caso concreto, se podría optar por una granulometría uniforme en todo el cuerpo de la presa.

No obstante, la zonación expuesta por el ICOLD para las zonas 3B y 3C limita el tamaño de bloque al tamaño máximo, por lo que, para ambas zonas, la granulometría obtenida en los materiales previstos para el cuerpo del pedraplén serían satisfactorios tanto para 3B y 3C.

Por otro lado, una distribución uniforme del cuerpo del pedraplén, (con una granulometría comprendida entre 5 y 25"), permite una mejora en las siguientes características del mismo:

- Al tratarse de un cuerpo homogéneo se reduce el riesgo de presencia de zonas de interfase que provoquen al aumento de la velocidad de flujo (con el posible arrastre de partículas).
- Una distribución homogénea de los tamaños de grano empleados permite un mayor grado de compactación del cuerpo del pedraplén lo que le otorga mayor densidad al conjunto y por tanto mayor estabilidad.
- Al poder obtenerse un mayor grado de compactación la zona de contacto entre superficies aumenta y por consiguiente se pueden considerar ángulos de rozamiento más altos para el cálculo de estabilidad.

### **Resistencia a la abrasión**

Al ser sometido al ensayo de Abrasión, según norma de ensayo MTC-E-207, el material por utilizar en la construcción del pedraplén no podrá presentar un desgaste mayor del 30%.

### **Otras consideraciones**

- ❖ El relleno de enrocado deberá ser drenante para evitar la generación de presiones de poro durante la construcción, así como para controlar el drenaje del agua que podría generarse debido a posibles fugas en la pantalla de concreto.



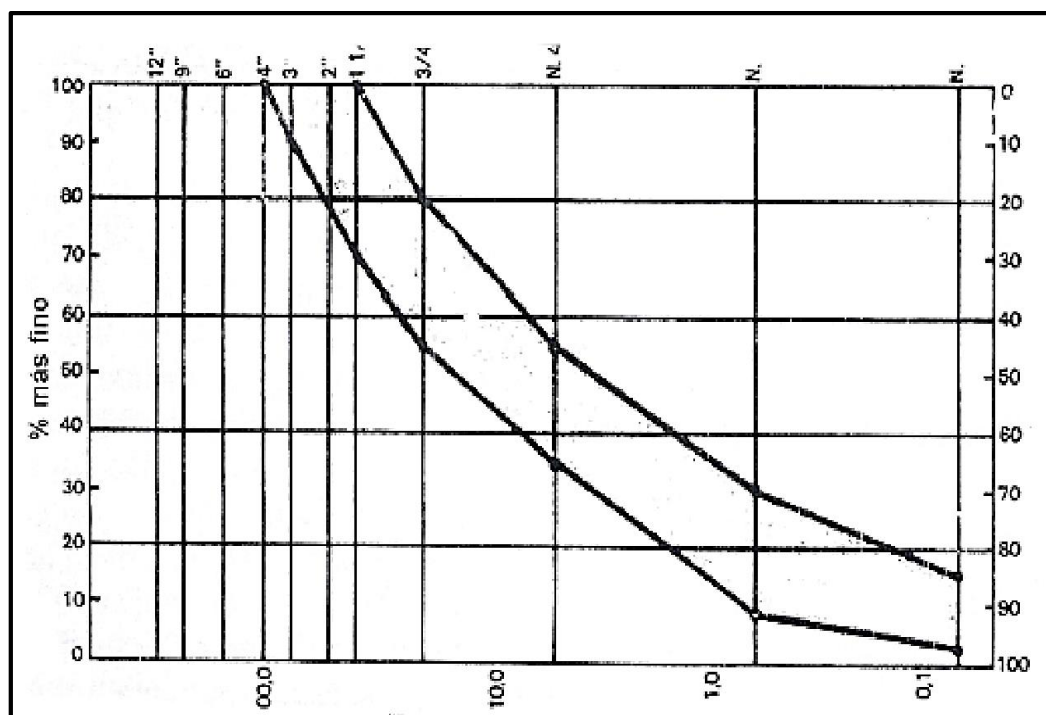
- ❖ El relleno de enrocado deberá tener un alto módulo de deformación después de la compactación para limitar las deflexiones en la pantalla bajo la carga del embalse hasta valores aceptables.
- ❖ Deberán de estar disponibles como materiales de cantera con un mínimo de desperdicio en el proceso de triturado y cribado (en caso que se use una chancadora) para que esté acorde con la granulometría especificada.
- ❖ Rocas como las areniscas, limonitas, argilitas y esquistos en algunos casos pueden producir rellenos no drenantes, debido a la degradación de los materiales, que deviene en la descomposición en materiales finos.
- ❖ El relleno de enrocado deberá tener una permeabilidad de al menos  $10^{-3}$  cm/s. Este es necesario para la disipación de las presiones de poro en el proceso constructivo del relleno de enrocado, así como para que tenga una gran capacidad de descarga de las fugas que se pudieran producir en la pantalla de concreto.

#### **b. Material de transición**

La principal función de esta zona es la de proveer un soporte uniforme para la colocación de la pantalla o losa de concreto, así como poseer una relativa menor permeabilidad para que el relleno de enrocado no sea descolocado.

Sherard (1987) sugirió que alrededor de 40% de arena (menor a la malla N°4) es requerido para evitar la segregación. También mostro que las fugas de agua a través de grietas en la pantalla de concreto, son controladas específicamente por la permeabilidad de la zona 2D, que por la abertura de la grieta. Concluyo asimismo que el espesor de la zona deberá de ser de 4m a 5m y que la zona deberá tener una permeabilidad de  $10^{-4}$  cm/s y extenderse en tongadas de 0,30 metros y compactadas mediante tractor oruga.

Debido a la altura de la presa se asume un espesor de 1,00 m; ICOLD (1989), Sherard (1985) y Amaya & Marulanda (2000) recomiendan las siguientes gradaciones:



**Gráfico 5:** Granulometría recomendada para el apoyo de la pantalla ICOLD N° 70

Las ventajas de tener esta zona especial de apoyo son:

- ❖ La zona actúa como una barrera semiimpermeable asegurando que las fugas a través de la presa no sean excesivas cuando se produzcan fallas en la pantalla de hormigón. En caso de una falla grande de la pantalla, el caudal que pueda pasar es muy inferior al de la capacidad de la escollera para evacuar sin riesgo el agua filtrada.
- ❖ Se dispone así un soporte más uniforme a la pantalla de hormigón.
- ❖ La reparación de fugas de agua a través de la pantalla y de las juntas se facilita por las propiedades de filtro de la zona de apoyo. La experiencia en obras demuestra que, con recursos relativamente simples (arena fina no lavada y limo), se obtienen resultados satisfactorios
- ❖ Así mismo puede estimarse envolver esta capa de transición con una lámina de geotextil para darle confinamiento y que no haya contaminación entre las zonas, así como evitar la pérdida de finos.

### c. Pantalla de concreto y plinto

#### Espesor:

El espesor de la pantalla o losa de concreto se ha determinado por la experiencia en proyectos de presas similares, con la siguiente expresión.

$$0.3 + 0.002 H_d \leq e_f \leq 0.3 + 0.004 H_d$$

Dónde:

$e_f$  = Espesor de la Pantalla (m)

$H_d$  = Altura del Embalse sobre la Pantalla (m) (23 m)

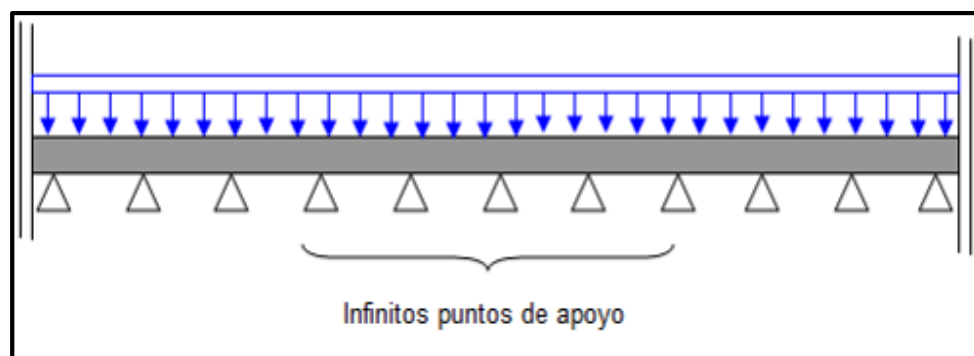
En nuestro caso, resulta un espesor máximo de 0.40 m y un mínimo de 0.35 m

Para este caso también puede estudiarse o considerarse colocar una geomembrana entre la zona de transición y la losa de hormigón con el fin de mejorar la impermeabilidad.

Por estas consideraciones se asume un espesor de 0.40 m.

#### Refuerzo de acero

Respecto al acero de refuerzo en la Pantalla, este es diseñado para controlar las fisuras originadas por los efectos de la contracción y temperatura. Se considerará una cuantía de 0.3 a 0.4% de acero de refuerzo en cada dirección (ICOLD 1989, Cooke&Sherard 1987).

**Esquema de cálculo****Figura 14:** Esquema de la estructura

Como la losa de protección – impermeabilizante se apoya en toda su longitud sobre el cuerpo de la presa, se utilizara el criterio de utilizar una cuantía minima de 0.3 % (ICOLD 1989, Cooke&Sherard 1987). .

Para

$$T = 0.40 \text{ m}$$

$$A_{SMIN} = 0.003 \times 100 \times 40 = 12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Utilizaremos el refuerzo en dos capas, usando  $\varnothing 1/2''$  a 20 cm se tiene un area de  $6.35 \text{ cm}^2/\text{m} > 6 \text{ cm}^2/\text{m}$  (por capa)

Por razones constructivas se define el acero de refuerzo de  $\varnothing 1/2''$  espaciado a 20 cm en ambas direcciones, en dos capas.

**d. Plinto**

De igual forma al anterior caso, el plinto utilizará la cuantía mínima sugerida de 0.3%. Para lo cual se ha previsto un refuerzo de acero de  $\varnothing 1/2''$  espaciado a 20 cm en ambas direcciones, en dos capas.

El plinto propuesto es el siguiente:

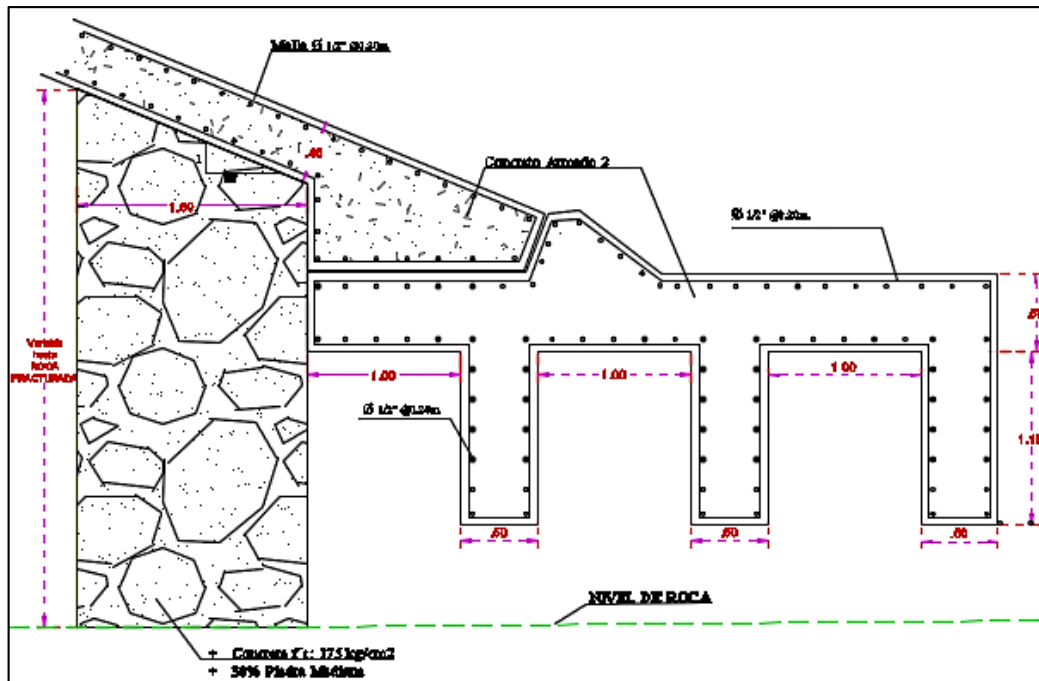
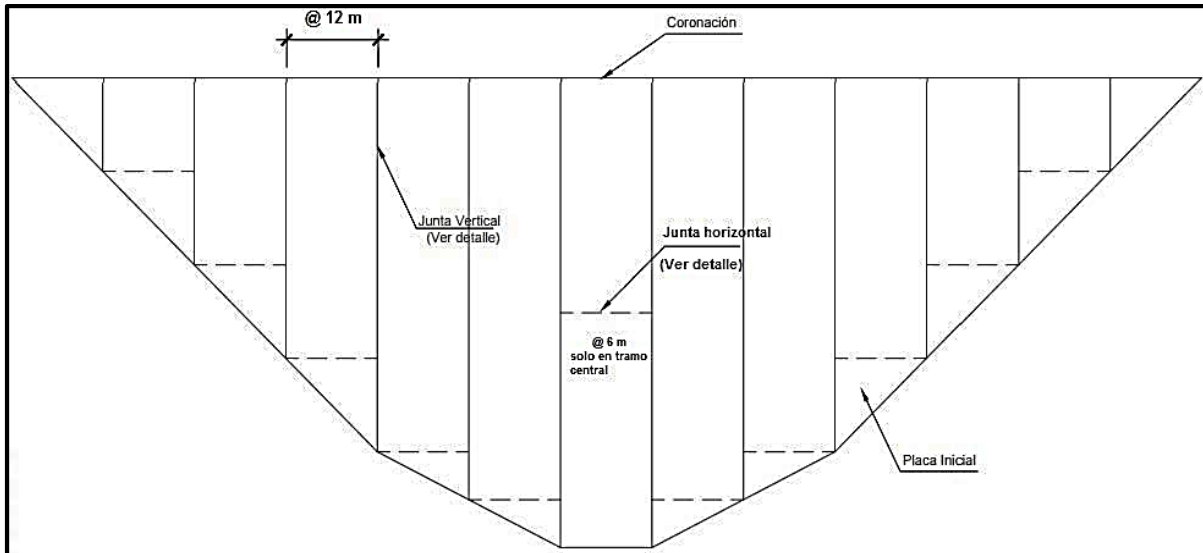


Figura 15: Detalle de plinto y dientes

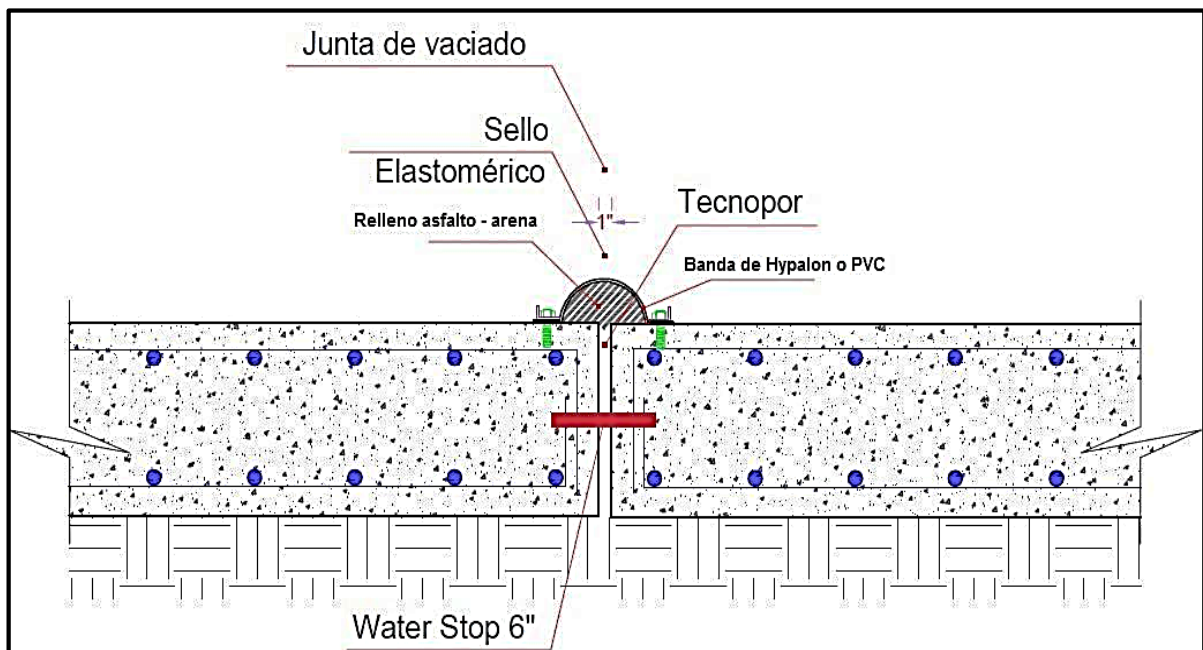
**e. Juntas**

Tal como se indica en el Boletín N° 70 CIGB-ICOLD-CNE (1995) “Como la mayor parte de la pantalla está en compresión, la práctica habitual es reducir el número de juntas verticales entre losas tanto como sea posible por razones constructivas. Puede adoptarse una separación entre 12 y 18 m, siendo 15 m lo más usual, teniendo en cuenta factores prácticos como el peso de los encofrados deslizantes, la dimensión de los malacates, el método y ritmo de colocación del hormigón, así como la proporción de la superficie total ocupada por las losas de partida. También debe tenerse en cuenta que la mayor separación entre juntas verticales, aumenta la probabilidad de que se produzcan fisuras de retracción aunque se considere que no son importantes”.

Por estas consideraciones se ha optado una separación entre juntas de 12 m, tal como se muestra en el siguiente grafico



**Figura 16:** Disposición de juntas verticales y horizontales



**Figura 17:** Detalle de junta

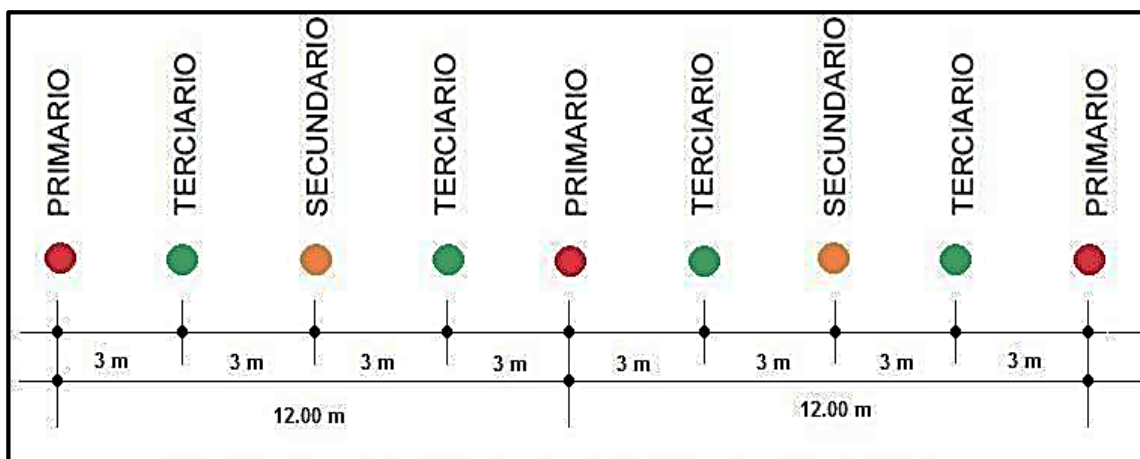
Se debe prestar especial atención a la inspección y supervisión de cada una de las juntas de la pantalla de hormigón, para asegurar que cumple con todos los detalles del proyecto y para garantizar una adecuada colocación y compactación del hormigón alrededor de las juntas de estanqueidad para impedir huecos, nidos de abeja y segregación de la mezcla o cualquier otro condicionante que pueda dar lugar a filtraciones a través de las juntas.

Uno de los principales requisitos es el cuidado, conocimiento y gran responsabilidad de la inspección durante la ejecución.

**f. Pantalla de Inyecciones**

Formado por una batería de inyecciones convencionales con lechada de cemento para impermeabilización del cemento por debajo de la pantalla de concreto (muro dentellon), hasta una profundidad promedio de 8 m y un diametro de perforación de 4" (100 mm) , de tal forma de sellar las fisuras en la roca madre.

La inyección ser realizará por el método ascendente, teniendo como alcance una permeabilidad de  $10^{-6}$  cm/s y los terciarios respectivos en los que los secundarios adyacentes no hayan alcanzado el umbral de  $10^{-6}$  cm/s post-tratamiento. La longitud máxima de tramo de tratamiento, en macizos rocosos, no deberá sobrepasar el intervalo de 10 metros. En suelos la longitud máxima no deberá ser mayor de 1 metro.



**Figura 18:** Secuencia de Inyecciones de impermeabilizacion

**4.2.12.2.4. Análisis de estabilidad de taludes**

Para que una presa de tierra/escollera pueda funcionar eficientemente, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- ❖ Que el gasto de filtración no afecte sensiblemente el volumen de agua disponible en el almacenamiento.

- ❖ Que las subpresiones no afecten la estabilidad de la estructura.
- ❖ Que no exista peligro de tubificación.
- ❖ Que los taludes sean estables, bajo las condiciones más severas de funcionamiento, según métodos reconocidos de análisis.
- ❖ Que no haya ninguna posibilidad de que el agua se desborde por encima de la cortina.
- ❖ Que la línea de saturación no corte el paramento aguas abajo.

De igual forma, los análisis de estabilidad han sido realizados como parte del diseño de la presa de enrocado para asegurar que presente un adecuado comportamiento ante las fuerzas externas.

Para tal fin, los factores de seguridad encontrados para cada una de las condiciones de carga analizadas serán mayores a los mínimos requeridos.

Los criterios de para el aseguramiento de la estabilidad serán los siguientes:

**Tabla 65:** Criterios de estabilidad.

Condicion	Descripcion	Talud aguas arriba	Talud aguas abajo
I	Estatica	1.5	1.5
II	Pseudo estatica	1.0	1.0

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de peligro sísmico ha estimado la probabilidad de ocurrencia anual de las aceleraciones máximas en función del tiempo.

Para un tiempo de exposición de la estructura de 50 años y una probabilidad de excedencia del 10% se estima un periodo de retorno de 475 años, el cual en base al estudio de peligro sísmico equivaldría a una aceleración máxima (PGA) esperada en el terreno de 0.45g.



Para el diseño pseudoestático de taludes y muros, se recomienda valores de 1/3 a 1/2 de la aceleración máxima (PGA) para el periodo de retorno escogido. Para la determinación del coeficiente pseudoestático sea elegido 1/2 del PGA. El coeficiente pseudoestático para el cálculo de la estabilidad sísmica fue asumido como 0.20.

Para la correcta definición de los factores de seguridad a lo largo de toda la presa se ha analizado la sección más crítica.

Ante estos resultados obtenidos se puede constatar la estabilidad del cuerpo de presa tanto en la zona de aguas arriba como en la zona de aguas abajo

### Resultados de analisis de estabilidad

La Tabla siguiente muestra los resultados del análisis de estabilidad considerando diferentes condiciones de carga, se han ensayado en los taludes aguas arriba y abajo.

**Tabla 66:** Resultados del análisis de estabilidad (Factores mínimos)

Condición	Talud Aguas Arriba		Talud Aguas Abajo	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
Al final de la construcción (Presa vacía)	2.7	1.3	1.7	1.1
Puesta en operación (Presa llena)	4.2	1.6	1.7	1.1

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Valores redondeados a 1 decimal.

De acuerdo a los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en el cuadro anterior la condición de los taludes es estable, donde los Factores de Seguridad cumplen con los mínimos recomendados.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

Las características geológicas de la zona de estudio se aprecia que ésta pertenece a la cuenca Yura, cuadrángulo Yauri 30t, donde se concluye que todo el cuerpo de la presa se establecerá en los afloramientos de rocas volcánicas con depósitos aluviales y coluviales, precisando que el estribo derecho contempla la presencia de roca volcánica perteneciente al complejo volcánico Cailloma; el estribo izquierdo está cubierta con material coluvial; mientras que el cauce está cubierto de material cuaternario fluvial, perteneciendo también al complejo volcánico Cailloma (Np-ca/4); Que son constituidas por cristales de cuarzo (translucido – opaco), vidrio volcánico (colores oscuros), también presenta plagioclasas alteradas (blanco) y clastos de rocas volcánicas, englobadas en una matriz de cenizas y polvo volcánico de coloración beis rosácea, aclarándose a medida que profundiza. Tiene un aspecto poroso terroso.

Los parámetros geotécnicos del área de estudio donde se ejecutara el cuerpo de la presa presenta las siguientes valuaciones por presentar dos formaciones, siendo la primera GW –SW la cual presenta diámetros de aproximadamente 0.1 a 2.5 cm; el segundo presenta un RQD de 60 a 80% clasificada como tipo de Roca III y Roca IV consideradas como roca media y mala respectivamente considerando la presencia de fenocristales, es así que se especifica la aplicación de inyección de concreto para lograr la impermeabilidad, con la finalidad de evitar los riesgos y a su vez optimizar las condiciones de la construcción. Es así que se ve por conveniente especificar que

la profundidad de cimentación sea de 4m sobre el suelo GP debido a que el RMR del eje de la presa comprende de calidad media de la roca y la capacidad portante entre 1.12Kg/cm<sup>2</sup> y 2.53Kg/cm<sup>2</sup>.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda en la caracterización geológica aumentar más las investigaciones sobre el área de estudio así como un papeo geológico más detallado con la realización de perforaciones diamantinas , prospección geofísica , calicatas , trincheras y otros.

Se recomienda en los parámetros geotécnicos la realización en las perforaciones diamantinas en una profundidad de 1.5 veces la altura de la presa a proyectarse. Estas deberán ser dispuestas en la zona del Eje y la zona lateral derecha, que es la terraza con material cuaternario y que es necesario confirmar la profundidad de suelos cuaternarios y determinar la permeabilidad con el método Lefranc y en las zonas del macizo rocoso permeabilidad lugeon cada 5 de perforación de preferencia con doble Packer.

Es recomendable el diseño de una presa de concreto de gravedad, concreto o crfd dado que se considera que la cimentación deberá estar implantada en el macizo rocos, que se halla en una profundidad promedio de 8 m en el eje de presa.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS

- Akkas, N. (1982). *National contribution of Turkey", Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region, UNDP Project executed by UNESCO in association with UNDRO, RER/79/014, Working Group B. Balkan: Vulnerability and Seismic Hazard, Final Report.*
- Alva Hurtado, J., Meneses, J., & Guzmán, V. (1984). *Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú.* Tacna, Perú: V Congreso Nacional de Ingeniería Civil.
- Alva, J. (2005). *Actualización de los parámetros sismológicos en la evaluación del Peligro Sísmico en el Perú.* Perú: Ingeniería Civil N°03.
- Arrieta Arrieta, M., Pérez Hernando, M., & Díez Cascon, J. (2012). *Proyecto: Presa de Castrovido.* Burgos- España: Universidad de Cantabria.
- Audebaud, E. (1973). Geología de los cuadrangulos de Ocongate y Sicuani. *Bol. Inst. Geol. Min. Metal.*, 25, 72p.
- Benavides, V. (1962). Estratigrafía pre-Terciaria de la región de Arequipa. *Bol. Soc. geol*, 38: 5-63.

- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering rock mass classifications*. Canada: John Wiley & Sons.
- Bligh, W. (1910). Dams Barrages and Weirs on Porous Foundations. *Engineering News*, p. 708.
- Bowles, J. (1982). *Manual de laboratorio de mecánica de suelos*. Editorial McGraw – Hill Latinoamericana: Bogotá – Colombia. .
- Bowles, J. (1982). *Propiedades geofísicas de los subsuelos*. Mexico: Ediciones Lerner.
- Brady, A., & Pérez, V. (1977). *Strong-Motion Earthquake Accelerograms. Digitization and Analysis Records from Lima, Perú: 1951 to 1974*. Lima, Perú: Open File Report N°77-587, U.S. Geological Survey. .
- Briones, G. (1994). *Presas de tierra y enrocamiento y resistencia de la falla de filtración*. Lima. Perú.
- Carrion Rodriguez, R., Gonzales Zambrano, P., & Chavez, M. (2005). *Estudios y diseños de la presa de embalse del Parque del conocimiento-ESPOL*. Guayaquil-Ecuador.
- Casaverde, L., & Vargas, J. (1980). *Zonificación Sísmica del Perú, II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmo-Resistente*, . Lima, Perú: Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CERESIS, C. R. (1985). *Earthquake Mitigation Program in the Andean Region (Project SISRA)*. Perú: CERESIS, 14 vols.
- Chugaev, S. (1992). '*Boris El'tsin. Budu zashchishchat' svobodu i dostojnstvo Rossijskoj pressy*'. Izvestiya.

- CNEGP, C. (1999). *Estudios geológico-geotécnicos y de prospección de materiales*.
- Cornell, C. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am*, 58, 1583-1606.
- Cosillo, P. (1999). *Consideraciones geológicas – geotécnicas para el diseño de taludes en macizo rocoso*. Guatemala: (TESIS DE INGENIERO CIVIL) – Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. .
- Crespo, V. (1990). *Mecánica de suelos y cimentación*. Noriega. México. : Editorial Limusa.
- Deere, D. (1964). Technical Description of the rock cores for Engineering Purposes. *Rock Mechanics and Geology*, Volume 1. Pp. 17-22. .
- Delgado, V. (1996). *Ingeniería de cimentaciones*. Mexico: Editorial Alfa y Omega.
- Departamento de Ciencia e Ingeniería , T. (2010). *Grupo de Geotecnia*. España: SANTANDER (CANTABRIA).
- Deza, E., & Carbonell, C. (1978). *Regionalización Sismo tectónica Preliminar del Perú*. Lima, Perú: IV Congreso Peruano de Geología.
- Díaz, V., María, Y., & Migdelis, C. (2009). *Construcción de Presa*. España: Universidad de Oriente Barcelona. .
- Euchun, C., & Braja, M. (2001). Bearing capacity of unsaturated oil-contaminated sand. *International journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 11, No. 3, p. 1.
- Fellenius, W., Blidberg, F., Post, L., & Olsson, J. (1922). Statens Jarnvargars Geotekniska Kommission19114-22 Slutbetankande. *State Railways Geotechnical Committee 1914-22.Final Report*, 180pp.

- Franco Serrato, G., Martinez Rojas, J., Dumas Gonzáles, C., Castellanos Pedroza, V., & Aleman Velasquez, J. (2008). *Estudios geológicos y geotécnicos complementarios para la presa de almacenamiento el zapotillo, para 105 metros de altura en el estado de Jalisco*. Jalisco: CFE-GEIC-SGM .
- Froilan, P. (2014). *Construcción de presa de tierra*. Puno-Perú: Tesis. EPIG. UNAP.
- Gandarillas Antezana, H., & Gandarillas Rodriguez, L. (2010). *Enfoques de diseño de presas de enrocado en membrana impermeable*. Bolivia: Inv. Civil.
- GEOOTHERMAD SERVICIOS GENERALES, E. (2015). *Geología Local*. Lima- Peru.
- Heredia, M. (2002). *Manual práctico del ingeniero civil*. Lima: Primera Edición .
- Huanca, B. (1991). *Mecánica de suelos*. Ica, Perú: UNICA.
- INGEMMET, I. (1996). *Geología del Perú. Cuadrángulos de Arequipa – Ayacucho*. Lima: INGEMMET.
- Jaillard, E., & Arnaud-Vanneau, A. (1993). The Cenomanian-Turonian transition on the Peruvian margin. *Cret. Research*, 14,585-605. .
- Juarez, B. (1996). *Mecánica de suelos*. Mexico: Editorial Limusa.
- Lambe, T., & Whitman, R. (1969). *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Lane, E. (1935). *Security from Under-Seepage Masonry Dams on Earth Foundations*. Transactions ASC.
- McGuire, R. (1976). FORTRAN computer program for seismic risk analysis, U.S. *Geological Survey Open-File Report*, 76-67. .



- Merz, H., & Cornell, C. A. (1973). Seismic risk analysis based on a quadratic magnitude-frequency law. *Bull. Seismol. Soc. Am*, 63, 1999-2006.
- Michell, J. (1767). *An Inquiry into the probable Parallax, and Magnitude, of the Fixed Stars, from the Quantity of Light which they afford us, and the particular Circumstances of their Situation*. Philosophical Transactions, Vol. 57, pp. 234-264.
- MVCS, M. d. (2012). *CE.020. Estabilización de suelos y taludes*. Lima.
- Portugal, J. (1974). Mesozoic and Cenozoic Stratigraph and Tectonic events of Puno-Santa Luda Area, Department of Puno, Peru. *Am. Ass. \$elrol. Ceol. Bull*, 58: 982-999. .
- Richter, C. F. (1958). *Elementary seismology*, W.F. Freeman and Company, San Francisco, and Bailey Bros. London: & Swinfen Ltd.
- Rodriguez-Lozada, J., Hernandez-Gutierrez, L., Olalla, C., Perucho, A., Serrana, A., & Eff-Darwich, A. (2009). Gwomechical parameters of intact rock and rock masses from the Canary Islands: implications on their flank stability. *J. Volcan Geoth Res.*, 182: 67-75.
- Saldoval, E. (2012). *Presa de tierra y enrocamiento* . Cusco, Perú.
- Sarmiento Carrillo, C. A. (2009). *Manual de requisitos y estudios necesarios para la construcción de una presa*. . Bucaramanga- Santander: Universidad Industrial de Santander.
- Terzaghi, B. (1980). A Method for the Isolation of Azotobacter Mutants Derepressed for Nif. *Journal of General Microbiology*, 275-278.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: 2nd Edition, John Wiley.

Vargas, J. (1979). *Albañilería de adobe con variaciones de mortero*. Lima:  
Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil.

## ANEXOS

## ANEXO I : PLANOS Y PERFILES

- A. Plano De Ubicación
- B. Plano Hidrológico
- C. Plano Geologico Local
- D. Plano Estratigráfico
- E. Plano Ubicacion De Cantera
- F. Plano Eje De La Presa (Planta)
- G. Plano Eje Dela Presa (Perfil)

## **ANEXO II: Evaluación geotécnica – Calicatas**

### **ANEXO III: Ensayos de Laboratorio**

## **B. Ensayos de Corte Directo**

## **ANEXO IV: Hoja de cálculo de permeabilidad**



**ANEXO V: Hoja de cálculo geomecánico de suelos**

## **ANEXO VI: Capacidad portante**

## **ANEXO VII: Analisis de estabilidad**

**ANEXO VIII: Panel fotográfico**