



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



EVALUACIÓN GEOLOGICA Y GEOTÉCNICA PARA LA
CONSTRUCCION DE LA REPRESA PICHCCACCOCHA
LUCANAS – AYACUCHO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDMUNDO MAMANI REYES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEOLOGO

PUNO - PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios por concederme la vida y la fortaleza, así tener la oportunidad de desarrollarme en esta hermosa profesión.

En memoria a mi padre, a mi madre Alvina por la motivación y apoyo constante, a mis hermanos Diego, Ronald y Yerson que son el ejemplo a seguir.

Edmundo Mamani Reyes



AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor creador, por ser mi guía en cada momento de mi vida y por brindarme una vida llena de aprendizaje.

A mi madre, hermanos y tíos que siempre han estado allí para apoyarme, alentarme los ánimos cuando las fuerzas desfallecen, depositando confianza en mí.

A la Universidad Nacional del Altiplano mi Alma Mater que durante 5 años me cobijo a mi formación académica profesional y a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, que me han impartido sus conocimientos en mis años de estudio.

Al M.Sc. Leonel Palomino Ascencio que, como asesor de tesis me ha apoyado en la ejecución del presente trabajo de investigación. Al Ing. Edwin Chambilla Palomino por compartir sus conocimientos y guía durante los trabajos de campo de esta investigación. Mi agradecimiento al Ing. Eduardo Pacori Quispe por el financiamiento y desarrollo del proyecto. Finalmente, mi reconocimiento al Ing. Jaime Pacheco Laura por sus comentarios y desarrollo en proyectos similares.

Edmundo Mamani Reyes



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES 17

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN 20

1.3.1 Problema general 20

1.3.2 Problemas específicos 20

1.4 JUSTIFICACIÓN 21

1.5 HIPÓTESIS DEL TRABAJO 22

1.6 OBJETIVO 22

1.6.1 Objetivo general 22

1.6.2 Objetivos específicos 22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO..... 23

2.2 PRESA..... 24



2.2.1	Tipos de Presa.....	24
2.2.2	Factores importantes en la selección del tipo de presa	25
2.2.3	Función de las Presas.....	26
2.3	PRESA DE ENROCADO	26
2.3.1	Presas de enrocado con membrana impermeable.....	27
2.3.1.1	Componentes principales de una presa de enrocado.....	27
2.3.2	Embalse	29
2.3.3	Vaso	29
2.4	ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS.....	29
2.4.1	Geofísica.....	30
2.4.1.1	Ensayo de refracción sísmica	30
2.4.1.2	Ensayo de Tomografía Eléctrica	33
2.4.2	Mecánica de Rocas.....	35
2.4.3	Clasificación Geomecánica.....	35
2.4.3.1	Calidad De Rocas RQD.....	35
2.4.3.1.1	RQD en testigos diamantinos.....	36
2.4.3.2	Valoración del macizo rocoso.....	37
2.4.4	Exploración con perforaciones diamantinas	38
2.4.4.1	Ensayos de permeabilidad.....	39
2.4.4.1.1	Prueba de luguen	39
2.4.5	Análisis de estabilidad de taludes	40
2.4.6	Cimentación de presas.....	41

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES	42
------------	-------------------------	-----------



3.1.1	Materiales, herramientas y equipos.....	42
3.2	MÉTODOS.....	43
3.2.1	Actividad de gabinete inicial.....	45
3.2.1.1	Geotecnia en los estudios preliminares	45
3.2.2	Actividades de Campo	47
3.2.2.1	Mapeo geológico	49
3.2.2.1.1	Perforaciones diamantinas	49
3.2.2.1.2	Ensayo de permeabilidad tipo lugeon.....	50
3.3	ACTIVIDADES DE LABORATORIO	51
3.3.1	Ensayos de laboratorio	51
3.4	Actividades de gabinete final.....	51
3.4.1	Elaboración de planos	51
3.4.2	Evaluación de la estabilidad de taludes	51
3.4.3	Parámetros Geotécnicos del Suelo de Cimentación	52
3.5	Redacción investigación final	52
CAPÍTULO IV		
CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO		
4.1	UBICACIÓN EL ÁREA DE ESTUDIO	53
4.1.1	Ubicación Política:	53
4.1.2	Ubicación Geográfica:.....	53
4.1.3	Accesibilidad al área de estudio	53
4.1.4	Clima	54
4.2	GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	54
4.2.1	Geomorfología local	55
4.2.1.1	Relieve cordillerano.....	55



4.2.1.2	Colinas	55
4.2.1.3	Laderas.....	56
4.2.1.4	Terrazas	56
4.2.1.5	Escarpas.....	56
4.3	GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO.....	56
4.3.1	Geología local.....	57
4.3.1.1	Cenozoico (neógeno – cuaternario).....	57
4.3.1.1.1	Cuaternario aluvial (Q-al).....	57
4.3.1.1.2	Grupo barroso (NQ-ba).....	57
4.3.1.1.3	Complejo querobamba - dioritas.....	57
CAPÍTULO V		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
5.1	LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS DE LA	
	PRESA PICHCCACCOCHA	58
5.1.1	Características geológicas	58
5.1.1.1	Petrología Descripción Macroscópica.....	59
5.1.2	Características geotécnicas	61
5.1.2.1	Resultados de estudios geofísicos.....	61
5.1.2.1.1	Ensayo de refracción sísmica.....	61
5.1.2.1.2	Ensayo de Tomografía Eléctrica.....	63
5.1.2.2	Resultados de estudios de perforación diamantina.....	65
5.1.2.2.1	Ubicación de las perforaciones diamantina	65
5.1.2.2.2	Investigaciones geotécnicas.....	67
5.1.2.2.3	Caracterización de los Materiales	68



5.2	CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE PERMEABILIDAD Y ESTABILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA PICHCCACCOCHA.....	70
5.2.1	Resultados geotécnicos de los ensayos de permeabilidad en el cierre.....	70
5.2.2	Análisis de estabilidad.....	74
5.2.2.1	Condiciones de análisis.....	74
5.2.3	Sección principal de análisis y Principales características geológicas y geotécnicas.....	75
5.2.3.1	Resultados Análisis de estabilidad	77
5.2.3.2	Resumen de análisis de estabilidad.....	88
5.3	COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA ZONA DEL CIMENTACIÓN Y EJE DE LA PRESA PICHCCACCOCHA	88
5.3.1	Análisis de la capacidad admisible.....	88
5.3.2	Capacidad transmitida de la estructura.....	89
5.3.3	Tensión efectiva trasmitida a la cimentación.....	89
5.4	INTERPRETACIÓN Y DISCUSIONES	90
5.4.1	Resultados de Estudios de mecánica de rocas de fundación.....	90
VI.	CONCLUSIONES.....	92
VII.	RECOMENDACIONES	94
VIII.	REFERENCIAS	95
ANEXOS.....		99

Área : Ingeniería Geotecnia.

Tema : Evaluación geotécnica para la construcción de presa.

FECHA DE SUSTENTACION: 13 de abril 2022.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ensayo de refracción sísmica.	31
Figura 2	Esquema Básico del Método de Resistividad..	34
Figura 3	Cálculo de RQD en Testigos Diamantinos..	37
Figura 4	Métodos de Exploración en Presas.....	47
Figura 5	Discontinuidades en un Macizo Rocoso.	48
Figura 6	Grafico del Clima.	54
Figura 7	Muestra de Roca Superficial..	60
Figura 8	Ubicación de las Líneas Sísmicas y Tomografía eléctrica.	63
Figura 9	Tomografía Eléctrica Resultados..	65
Figura 10	Imagen satelital y ubicación de sondajes de diamantina en el sitio de la presa.	67
Figura 11	Muestra Testigos de Diamantino.....	69
Figura 12	Perfil Litoloestratigrafico del Cierre de la Presa.	69
Figura 13	Vista de la Vista Transversal al Eje de Presa.	72
Figura 14	Representación de los Sondajes y el Grado de Permeabilidad Obtenidos. ..	72
Figura 15	Vista del Perfil Longitudinal al Eje de Presa.	73
Figura 16	Principales Componentes de la Sección Principal.	76
Figura 17	Esquema de análisis de evaluaciones en diferentes condiciones críticas.	79
Figura 18	Análisis estático Aguas arriba	80
Figura 19	Análisis estático Aguas abajo.....	81
Figura 20	Análisis estático Aguas arriba	82
Figura 21	Análisis estático Aguas abajo.....	83
Figura 22	Análisis estático Aguas arriba	84
Figura 23	Análisis pseudo estático Aguas arriba.....	85



Figura 24 Análisis pseudo estático Aguas abajo	86
Figura 25 Análisis pseudo estático Aguas arriba.....	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de Velocidades de Ondas Vp.....	31
Tabla 2 Descripción según material según las ondas P.	32
Tabla 3 Tipo de Suelo y valoración en Vp.	33
Tabla 4 Ondas P y Tipo de Suelo.....	33
Tabla 5 Relación Entre el Valor del RQD y la Calidad de la Roca	36
Tabla 6 Clasificación Geomecánica.....	38
Tabla 7 Valores de Lugeon.	40
Tabla 8 Valores de Permeabilidad.	40
Tabla 9 Etapas de Trabajo de la investigación.....	44
Tabla 10 Investigaciones Geológicas en Presas.....	46
Tabla 11 Puntos de perforación.	50
Tabla 12 Distancias y Tiempos de Viaje Para el Acceso a la Zona del Proyecto.....	54
Tabla 13 Descripción de Muestra del Eje de Presa.....	59
Tabla 14 Ubicaciones de los Líneas de Ensayo de Refracción Sísmica.	61
Tabla 15 Resultado e Interpretación de las Líneas Sísmicas del Eje de Presa.	62
Tabla 16 Resultado e Interpretación de la Línea Eléctrica	64
Tabla 17 Ubicación de los Sondajes Diamantinos de Área de Investigación.....	66
Tabla 18 Caracterización de los Materiales en los Sondajes.	68
Tabla 19 Resumen de perforación diamantina.....	70
Tabla 20 Características de los Resultados de los Sondeos Diamantinos.	71
Tabla 21 Resumen de Resultados de Permeabilidad.	74
Tabla 22 Parámetros Geotécnicos para el Análisis de Estabilidad.	77
Tabla 23 Resultados del Análisis de Estabilidad.	88
Tabla 24 Resumen de Resultados a los Análisis de Capacidad Admisible.	89



Tabla 25 Propiedades Físico Mecánicas de Rocas.	90
Tabla 26 Resumen de Esfuerzos en la Cimentación.	90



INDICE DE ACRÓNIMOS

CC	: Centro Comunal.
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
PN-Ta	: Paleógeno Grupo Tacaza.
NQ-ba	: Neógeno cuaternario Grupo Barroso.
Ma	: Millones de Años.
m.s.n.m.	: Metros sobre el Nivel del Mar.
Q	: Depósitos Cuaternarios.
Qh-co	: Depósitos cuaternarios coluviales.
Qh-al	: Depósitos Aluviales.
NW	: Nor Oeste.
NE	: Nor Este.
SW	: Sur Oeste.
SE	: Sur Este.
F	: Fuerza.
T	: Extensión.
P	: Acortamiento.
UTM	: Universal Transverse mercator
ASTM	: Asociación Americana de Ensayos de Materiales.
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
AASTHO	: Asociación Americana de oficiales de Carretera Estatales y Transporte).
RMR	: Sistema de Clasificación Rock Mass Rating.
RQD	: Rock Quality Designation
Mpa	: Mega Pascales.



Km	: kilómetros.
M	: Metros.
PP	: Pozo Perforado.
LUG	: Ensayo tipo Lugeon.
K	: Coeficiente de permeabilidad.
L	: Longitud de la sección
H	: Altura de la sección
A	: Área de la sección.
Ø	: Angulo de fricción
C	: Cohesión
E	: Modulo de elasticidad
D	: Coeficiente de Poisson



RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado evaluación geotécnica y geológica para la construcción la represa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho, está ubicado en el centro poblado de Santa Rosa, Distrito de Chipao, Provincia de Lucanas, Departamento de Ayacucho. Los objetivos de la investigación son de evaluar las condiciones geotécnicas y geológicas, en los cuales se realizaron trabajos de exploración geotécnica tales como mapeo geológico local, prospección geofísica, perforaciones diamantinas, ensayos in situ de permeabilidad y ensayos de laboratorio. La metodología aplicada es de tipo cuantitativo y descriptivo, las técnicas de estudio fueron empleados en las actividades de campo, laboratorio y gabinete. Se determinó que la geología en el sector del cierre de la presa proyectada está cubierta por materiales cuaternarios aluviales con potencia de 1.5m. seguido de rocas volcánicas andesíticas y geomorfológicamente presenta relieves de pendiente suave a empinados. los valores obtenidos de permeabilidad entre 10^{-5} y 10^{-7} k, en rocas con RQD mayor a 70%, lo cual indica condiciones favorables. El análisis de estabilidad de las condiciones del talud del cuerpo de la presa se obtiene factores de seguridad mayor a 1.5 las cuales son estables. La capacidad portante calculada en rocas es de 17.50 kg/cm² el cual tendrá una profundidad de cimentación de 1.00 a 1.50m, donde se debe cortar y limpiar la cobertura del suelo. Por lo tanto, se considera que el terreno de fundación de la presa es favorable.

Palabras claves: Caracterización, Estabilidad, Geología, Geotecnia, Permeabilidad.



ABSTRACT

The present research work called geotechnical and geological evaluation for the construction of the Pichccaccocha Lucanas - Ayacucho dam, is located in the town of Santa Rosa, District of Chipao, Province of Lucanas, Department of Ayacucho. The objectives of the investigation are to evaluate the geotechnical and geological conditions, in which geotechnical exploration works were carried out such as local geological mapping, geophysical prospecting, diamond drilling, in situ permeability tests and laboratory tests. The applied methodology is quantitative and descriptive, the study techniques were used in field, laboratory and cabinet activities. It was determined that the geology in the closure sector of the projected dam is covered by alluvial quaternary materials with a thickness of 1.5m. followed by andesitic volcanic rocks and geomorphologically it presents reliefs from gentle to steep slopes. the obtained values of permeability between 10^{-5} and 10^{-7} k, in rocks with RQD greater than 70%, which indicates favorable conditions. The stability analysis of the conditions of the slope of the body of the dam, safety factors greater than 1.5 are obtained, which are stable. The bearing capacity calculated in rocks is 17.50 kg/cm² which will have a foundation depth of 1.00 to 1.50m, where the ground cover must be cut and cleaned. Therefore, the foundation ground of the dam is considered to be favorable.

Key words: Characterization, Stability. Geology, Geotechnics, Permeability.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Se desarrollaron varios estudios iniciales a nivel internacional y nacional, para el estudio y construcción de presas en el mundo, estos estudios fueron de base para la evaluación e interpretación de presas en el Perú. Es importante mencionar los autores y las áreas donde trabajaron, las cuales son:

Briones (1994), menciona que al diseñar, construir y analizar el comportamiento de una presa se debe considerar que ella y su cimentación forman una unidad estructural, hasta el extremo que una presa es segura, si lo es también su Cimentación.

Herrera (2003), describe que los ensayos de laboratorio deben estar enfocados a determinar la existencia de sustancias contaminantes relacionadas con la propia actividad productiva o con aquella actividad vecina que, por proximidad, pueda estar contaminando el terreno aguas arriba. Lo cual podrían alterar los resultados de análisis de suelos al estar en contacto con sustancia externas en la zona de estudio o puntos de muestreo.

Alva (2007), menciona que el reconocimiento geológico y la interpretación del origen de la zona y su formación de suelos. Serán de base para la evaluación geológica e interpretación de posibles condiciones del subsuelo para un diseño de presas.

Ingemmet (1986), en los estudios realizados localmente dentro de la región se describe la geología del área de estudio que correspondiente a la cuadrícula 29 o geología de Querobamba, el cual se describe de forma cronológica las edades geológicas de las distintas formaciones presentes y características geomorfológicas.



Se menciona también, algunas tesis relacionados a construcción de presas las cuales son:

Esquivel (1999), describe que el análisis geotécnico y la propuesta de cimentación para un proyecto de presa. Son el principio para un buen análisis de suelos para su correspondiente cimentación ya que podrían llevar a consecuencias fatales en un futuro. Estos resultados ofrecerán un buen diseño y durabilidad de la presa.

Nina (2007), En su tesis afirma que la caracterización de los parámetros geotécnicos, análisis de estabilidad de talud de la presa, infiltración en el cuerpo y zona de desplante de presa, son de mucha importancia en los cuales se realizaran trabajos de exploración geotécnica tales como mapeo geológico local, prospección geofísica, perforaciones diamantinas, excavación de calicatas, ensayos in situ de permeabilidad, y ensayos de laboratorio, para finalmente determinar el diseño de la geometría apropiada de la presa.

Apaza (2016), en su tesis menciona la exhaustiva actividad de programas de prospección, exploraciones 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 ampliación de presa Ancascocha.

Sin dejar de mencionar históricamente desde más de 50 años los agricultores de las comunidades de Villa San José y Santa Rosa han tratado de llevar el agua de la laguna Pichcaccocha, para ello construyeron una presa rustica de barro y piedra, el canal de igual forma construidos de materiales de la misma zona, a fin de llevar un volumen apreciado intentaron impermeabilizar con mezclas de arcilla y arena, apisonándolos en la



zona de filtración y en otras áreas muy filtrantes impermeabilizaron con arena y cemento, con escasos recursos propios la comunidad no ha podido llevar el agua, pues hubieron muchos intentos, sin embargo, del total de agua apenas aprovecharon un 10% para poder distribuirse entre todos los comuneros, esta situación muy trabajosa se hizo cada vez más difícil por la topografía de la zona hasta dejaron de continuar con los trabajos del canal.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En vista de que el Perú y en el mundo existen casos de colapso de infraestructuras de represamiento para riego, por ello sea visto necesario considerar los estudios Geotécnicos y Geológicos para la construcción de una presa de enrocado en la laguna Pichcaccocha, que serán decisivos para el diseño de la presa. Estos estudios nos determinaran si la presa es capaz de almacenar grandes volúmenes de agua o por defecto perdidas, debido a las filtraciones o presencia de algunas fallas que puedan existir en el cierre. El estudio de caracterización geotécnica es fundamental para tener buenas condiciones en la construcción de la presa, nos determinarán el control de calidad de los agregados y cantera de rocas, que serán usados para diferentes fines en la construcción la presa de enrocado, la determinación de los parámetros geotécnicos nos determinará las características físicas y mecánicas de suelos y rocas.

Teresa (2014), en los últimos 100 años se han edificado en el Perú más de 130 presas para ahorrar agua y regular este recurso naturalmente, donde fueron mal distribuidos hasta años anteriores. Las primeras presas fueron cimentadas con fines de reservar agua para afianzar los grandes proyectos de irrigación en la costa peruana y proyectos de suministro de agua potable. Más tarde, las presas fueron proyectadas para cubrir necesidades como el uso industrial y la explotación minera principalmente en la cuenca alta.



Debido a la falta de estudios básicos para la construcción de una presa se requiere determinar los aspectos geológicos, litoestratigráficos, geomorfológicos, estructurales, geofísicos y el análisis geotécnico de sus características físico mecánicas de las rocas presentes en el área de estudio esto con el fin de ampliar y determinar la visión geológica dentro del área de estudio.

También en muchos estudios no son evaluados con un programa de prospección del subsuelo con perforaciones diamantinas, que son de suma importancia para determinar los materiales de suelo y roca. También cabe mencionar que los ensayos de permeabilidad deben llevarse al detalle según los parámetros establecidos para evitar filtraciones de aguas en profundidad. Estos deben ser correlacionados con estudios de refracción sísmica para realizar el análisis de estabilidad de toda el área de la presa.

La escasez de agua es un problema latente en los centros poblados de Villa San José y Santa Rosa, los habitantes de este lugar se dedican netamente a la agricultura y ganadería teniendo una extensión de terreno de 524 hectáreas, el cual es muy difícil de abastecerse de agua, por ello el clamor y la necesidad, así poder incrementar la dotación de agua para riego.

1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problema general

- ¿Cuáles serán las condiciones geotécnicas y geológicas del terreno de fundación para la construcción de la represa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características geológicas de la presa proyectada Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho?



- ¿Cuál será la permeabilidad y estabilidad del dique proyectado para la construcción de la presa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho?
- ¿Cuáles serán las propiedades geomecánicas del terreno de fundación para la cimentación del eje de la presa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho?

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación es necesario la construcción de la represa Pichccaccocha según las normas establecidas en la geotecnia, que llegara a garantizar el suministro de agua en beneficio y mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores de los centros poblados de Villa San José y Santa Rosa, y por la falta de estudios de esta naturaleza en el diseño de una presa de riego. Para ello se planteó desarrollar el estudio geológico y geotécnico del cierre de la represa proyectada, evaluando las condiciones de permeabilidad y estabilidad, así como el comportamiento de la zona de cimentación para garantizar la construcción y evitar colapsos por infiltración a corto plazo. Los perfiles estratigráficos nos permitida conocer la composición y el origen de evolución de dichos sedimentos presentes en la zona de estudio.

La investigación ofrece conocer el comportamiento real del macizo rocoso, para el diseño de la presa Pichccaccocha, mediante una evaluación de sus propiedades y características tales como la calidad del macizo rocoso en el área del cierre, para obtener la estabilidad optima y para la viabilidad del presente proyecto.

Los parámetros geotécnicos del cuerpo de presa, así como el terreno de fundación, estabilidad de taludes y grado de infiltración, son materia de investigación importantes ya que estos factores sin ser evaluados pueden afectar a obras en corto o largo plazo, para estimar estos valores nos apoyaremos de los parámetros geotécnicos obtenidos del suelo y roca de fundación y el material de préstamo paran el cuerpo de presa.



1.5 HIPÓTESIS DEL TRABAJO

Las condiciones geológicas y geotécnicas del área donde se ha de construir la represa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho. Son favorables para su represamiento.

1.6 OBJETIVO

1.6.1 Objetivo general

- Evaluar las condiciones geotécnicas y geológicas del terreno de fundación para la construcción de la represa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho.

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización geológica de la presa proyectada Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho.
- Investigar las condiciones de permeabilidad y estabilidad para la construcción de la presa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho.
- Determinar las propiedades geomecánicas del terreno de fundación para la cimentación del eje de la presa Pichccaccocha Lucanas – Ayacucho.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO

Las presas de enrocado según ICOLD (1995), están conformadas por un terraplenado y su consistencia depende principalmente de la roca en una zona impermeable en el talud aguas arriba o mediante un núcleo impermeable de arcilla. En el primer caso el tipo de presa mayormente utilizado el cual se le conoce como Presa de Hormigón con Núcleo de Enrocado que consiste en una presa de enrocado con pantalla impermeable de Hormigón. El segundo caso es del tipo Presa de Núcleo de arcilla con Pantalla de Geomembrana el cual está conformado de roca con núcleo impermeable de arcilla y filtros de transición que conforman parte de la presa. El término de presa de enrocado es denominado cuando más del 50% del material conformado puede clasificar como roca. Cabe mencionar también que este tipo de presas deben tener una medida adecuada el cual serán necesarias para producir impermeabilidad en la fundación. Las presas de enrocado como de tipo CFRD, tiene como ventajas de ser construida en un tiempo más cortos y sin problemas en temporadas húmedas.

Las investigaciones geológicas y geotécnicas de la presa Pichccaccocha se han desarrollado de manera detallada que ha permitido establecer y conocer las condiciones actuales de suelo y roca a lo largo del eje de presa proyectada. Así también se evaluó los parámetros geotécnicos de la cimentación y las características físicas mecánicas de los materiales presentes de suelo y roca para su análisis en laboratorio.

los estudios como el mapeo geológico, prospección geotécnica, caracterización del terreno de fundación, análisis de permeabilidad en el dique nos proyecta a realizar una construcción más segura y rentable de la presa Pichccaccocha.



2.2 PRESA

Según **Vallarino (1988)**, describe que la presa es una estructura que tiene por objeto embalsar el agua en un cauce natural con dos razones, los cuales como son:

- Aumentar su nivel para que pueda aprovecharse por una estructura de conducción.
- Formar un almacén o estanque que retenga los excedentes para ofrecer agua en los periodos de sequía o escasez.

2.2.1 Tipos de Presa

Según **Vallarino (1988)**, define los diferentes tipos de presas donde clasifica a las variadas formas de cumplir los requisitos de resistir el empuje del agua y evacuar los caudales excedentes. En cada caso, la relevancia relativa de estas dos premisas, las condiciones del terreno y las exigencias de los usos del agua represa de riego. En algunas veces la tecnología avanzada y circunstancias económicas del momento, dan una serie de condicionantes que llevan a la elección del tipo más apropiado. De ahí la conveniencia de disponer de varios, para acoplarse mejor a las diferentes condiciones, podemos tener tipos de presa como:

- Presas de gravedad
- Presas de bóveda
- Presas de escollera
- Presa de arco
- Presas contrafuertes



2.2.2 Factores importantes en la selección del tipo de presa

Para **Marsal & Reséndiz (1975)**, existen múltiples componentes que actúan en el proyecto de una presa. Por ello a continuación se muestran los más importantes en lo que se refiere a la elección del tipo de presa:

- La topografía de la región, la cual define la situación más adecuada del lugar y las dimensiones aproximadas del dique, la ubicación probable del vertedor y la necesidad como de cimentar diques auxiliares.
- La geología del área, que define las características de las rocas y de los depósitos aluviales en el cauce, así como la presencia de tectonismo o fallas activas que puedan afectar la estabilidad y buen comportamiento de una presa.
- Los materiales disponibles en el sitio, cuyas características permiten hacer comparaciones de costo y definir la solución más ventajosa.
- La sismicidad nacional influye específicamente en el comportamiento dinámico de los suelos de la cimentación y con los que se construye el estanque del agua, así como en la magnitud de la ola que se pueda generar en el embalse a consecuencia de un deslizamiento en las laderas del vaso o por efecto del sismo.
- La hidrología de las cuencas es uno de los factores que más importante en la elección del tipo de presa, ya que a través de ella se determina la avenida máxima de diseño.
- Medio ambiente, el cual ha sido un estudio determinante en lo que hoy en día se conoce como desarrollo sustentable.



2.2.3 Función de las Presas

De acuerdo a **Humberto & Luis (2009)**, las presas son estructuras que tienen la finalidad de retener el agua, con el propósito de formar un depósito que la retenga y de elevar su nivel para poder conducirla a los lugares donde es requerida. La condición de producir un embalse, hace que el agua retenida ejerza un empuje de gran magnitud sobre la estructura, siendo ésta la mayor sollicitación para la que debe diseñarse la obra. Desde el punto de vista de resistencia, el problema fundamental que debe resolverse es la forma en que la presa absorberá la presión que le transmite el agua sin romperse y sin transmitir al terreno natural más carga de la que éste puede soportar. Las presas son seleccionadas en función a las posibilidades de cumplir las exigencias como:

- Producir una estructura impermeable para regular y almacenar el agua.
- Resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso.

El autor también menciona se deben considerar las características del terreno de emplazamiento de la obra, la disponibilidad de los materiales y los usos que se le quiera dar al agua, condicionan la elección del tipo de presa, en principio pueden ser clasificadas en dos grandes grupos según su estructura y los materiales empleados en su construcción presas de terraplenado materiales sueltos y presas de hormigón.

2.3 PRESA DE ENROCADO

Según **ICOLD (1995)**, describe que las presas de enrocado son terraplenes formados por fragmentos de roca de varios tamaños para proporcionar el soporte al empuje del agua embalsada, una cama de transición en el talud aguas arriba para actuar como filtro colector y soporte del tercer componente consistente en una membrana que le



proporciona impermeabilidad. Las presas de enrocado han probado ser económicas cuando cualquiera de las siguientes condiciones existe:

- Abundancia de roca disponible en las proximidades del sitio de emplazamiento.
- La obtención de suelos es dificultosa, o requiere mucho procesamiento.
- Prevalece una corta temporada para la construcción de las obras.
- Condiciones climáticas muy húmedas limitan la utilización de relleno de suelos.
- La Presa podría ser elevada posteriormente.

El autor ICOLD (1995), También menciona los aspectos que favorecen la selección de presas de enrocado es la eliminación de factores como la erosión interna. Un factor de gran importancia para las presas de enrocado es que al no existir subpresiones y al existir condiciones para que el enrocado se mantenga seco, los movimientos sísmicos no pueden producir presiones de poro o presiones intersticiales.

2.3.1 Presas de enrocado con membrana impermeable

De acuerdo a **ICOLD (1995)**, menciona que las presas de enrocado se definen como estructuras conformadas por un terraplenado cuya estabilidad depende principalmente de la roca. Las presas de enrocado deben contener una zona impermeable, que usualmente es obtenida mediante una membrana impermeable en el talud aguas arriba o mediante un núcleo impermeable de arcilla.

2.3.1.1 Componentes principales de una presa de enrocado

Para **Ray & Joseph (1978)**, el embalse es el volumen de agua que queda retenido por la presa.

- Vaso parte del valle que inundándose contiene el agua embalsada.



- Cerrada es el punto concreto del terreno donde se construye la presa.
- Pantalla o cortina cuyas funciones básicas son, garantizar la estabilidad de toda la construcción soportando el empuje hidrostático del agua.
- Paramentos caras o taludes son las dos superficies más o menos verticales principales que limitan el cuerpo de la presa el interior o de aguas arriba que están en contacto con el agua y el exterior o de aguas abajo.
- Corona es la superficie que limita la presa superiormente.
- Aliviadero estructura hidráulica por la que rebosa el agua, excede cuando la presa está llena.
- Estribos son los laterales del muro que están en contacto con la cerrada contra la que se apoya.

Según **Ray & Joseph (1978)**, menciona también que la Membrana impermeable de hormigón armado en toda la cara del talud aguas arriba, con la función fundamental de impermeabilizar la presa y evitar las filtraciones de agua. Tiene la ventaja de que cuando baja el nivel del agua puede realizarse el control de su funcionamiento y eventuales reparaciones. La cama de transición entre el cuerpo del enrocado y la membrana impermeable, actuar como de soporte y para efectuar la transmisión de la carga al enrocado. Esta zona también incluye un filtro colector de las filtraciones a través de la membrana impermeable.

El enrocado compactado, que constituye la mayor parte de la presa y proporciona el soporte para el empuje del agua embalsada. La roca compactada disminuye los asentamientos, incrementa el ángulo de fricción interna del cuerpo de la presa y también su resistencia al esfuerzo cortante. **Ray & Joseph (1978)**.



2.3.2 Embalse

Según **Dal (2003)**, define que la pequeña presa o embalse es aquel depósito artificial de agua definido por un dique de altura inferior a 10 metros, considerado también si su altura estuviera comprendida entre 10 y 15 metros, con una capacidad inferior a 100,000m³ de almacenamiento de agua. El cual son desarrollados en la mayoría de los países para implantación.

2.3.3 Vaso

De acuerdo a **González (2004)**, es la parte del valle que al ser inundada contiene agua embalsada. Una de las condiciones básicas que debe reunir un embalse es su estanqueidad. Sin embargo, dependiendo del uso del mismo, las pérdidas de agua pueden ser más o menos tolerables. Así, un embalse de regulación de avenidas no requiere la misma estanqueidad que para abastecimiento o regadío. Por otro lado, las condiciones de impermeabilidad también deben ser analizadas en función de las necesidades del aprovechamiento, ya que, en ocasiones, puede ser económicamente rentable proceder a tratamientos de impermeabilización en zonas concretas.

2.4 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

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.



2.4.1 Geofísica

2.4.1.1 Ensayo de refracción sísmica

Para **Park (1999)**, los ensayos de refracción sísmica consisten en el control de los tiempos de viaje de las ondas compresionales ondas P, creadas por una fuente de energía impulsiva, esta energía viaja a través del subsuelo y es recibida en forma de señal por medio de sensores o geófonos organizados en una línea recta, esta configuración es llamada shot.

También menciona que la fuente de energía es generalmente producida por el golpe de una comba. La energía es detectada, amplificada, y registrada mediante un proceso de conversión análogo-digital de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto. El instante del impacto tiempo cero, también es registrado conjuntamente con las vibraciones del suelo que arriban a los geófonos. Por lo tanto, en general, los datos consisten en tiempos de viaje y distancias, siendo el tiempo de viaje el intervalo entre el tiempo cero y el instante en que el geófono empieza a responder a la perturbación. **Park (1999)**.

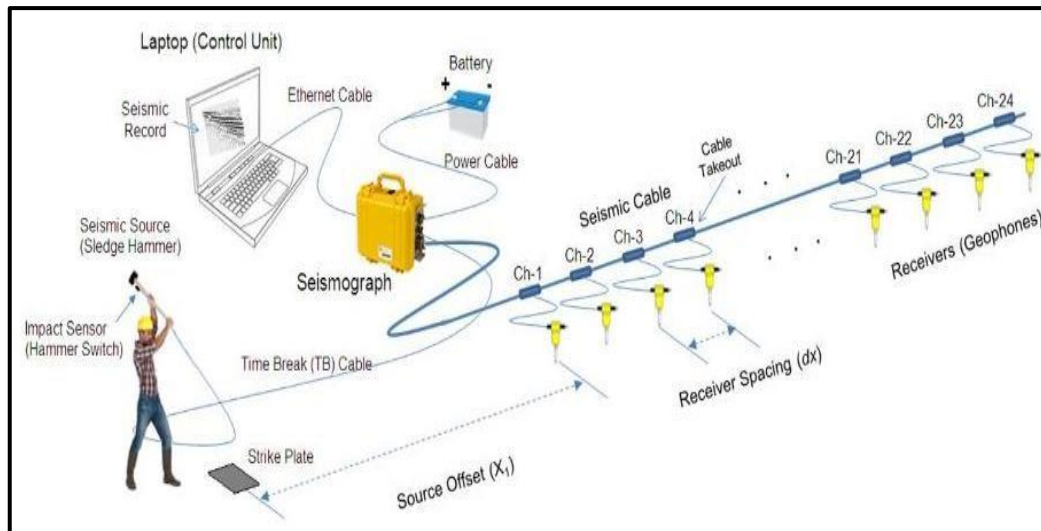


Figura 1 *Ensayo de refracción sísmica. Nota: se observa el ensayo de la refracción sísmica. tomada de Park, (1999) “Análisis multicanal de ondas superficiales”*

Para que ocurra el fenómeno de la refracción sísmica se debe cumplir un incremento progresivo de la rigidez con la profundidad $V_2 > V_1$.

Tabla 1

Valores de Velocidades de Ondas V_p .

Descripción	V_p (m/s)
Suelo de cobertura	< 1000
Roca muy fracturada	1000 - 2000
Roca fracturada o	2000 - 4000
Roca ligeramente	4000 - 5000
Roca firme	> 5000

Nota: *la descripción de suelos según los resultados de las ondas V_p . Toma de Arce Helberg (1990), La geofísica aplicada a la microzonificación - métodos de prospección geofísica en estudios de ingeniería*

Según **Arce (1990)**, describe los criterios de análisis establecidos para la interpretación de los ensayos geofísicos fueron determinados según la experiencia de estudios efectuados por diversos autores y los estándares internacionales de la ingeniería



geotécnica. En las siguientes tablas se presentan las correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca desarrolladas por diversos autores.

Tabla 2

Descripción según material según las ondas P.

Descripción	V _p (m/s)
Aire (en función de temperatura, presión y vientos)	310 - 360
Suelo vegetal	100 - 500
Grava, cascajo, arena seca	100 - 600
Arena húmeda	300 - 900
Depósitos aluvionales	500 - 2010
Morrena fluvio-glacial	1200 - 2700
Arcilla	1200 - 2800
Agua (en función de su temperatura y salinidad)	1430 - 1530
Arenisca friable	1500 - 2500
Arenisca compacta	1800 - 4000
Esquisto arcilloso	2700 - 4 800
Caliza, dolomita compacta	2500 - 6000
Marga	2000 - 3500
Anhidrita, yeso	4500 - 6500
Hielo	3100 - 4200
Sal de Roca	4200 - 5500
Tufo-brecha	4000 - 4900
Granito	4000 - 5700
Diorita	5950 - 6500
Granodiorita	5700 - 6400
Rocas metamórficas	4600 - 6800
Anfibolita	6500 - 7200

Nota: Caso: valores según los resultados que definen el tipo de suelo y roca. Recopilado de Curvich J. (1975); Dobrin, Milton (1961); NB (1976); Savicha y Satonov V.A. (1979).

Tabla 3*Tipo de Suelo y valoración en Vp.*

Descripción	Vp (m/s)
Suelo meteorizado	204 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Arcilla saturada	915 - 2750
Agua	1430 - 1665
Agua de mar	1460 - 1525
Arenisca	1830 - 3960
Esquisto o lutita	2750 - 4270
Tiza	1830 - 3960
Caliza	2134 - 6100
Granito	4575 - 5800
Roca metamórfica	3050 - 7000

Nota: Correlación velocidad de ondas P y tipo de suelo, según ASTM D5777 (1995).

Tabla 4*Ondas P y Tipo de Suelo.*

Descripción	Vp (m/s)
Arena suelta sobre el manto	245 - 610
Suelo blando	<300
Arena suelta bajo el manto freático	45 - 1220
Arena y gravas	300 - 1000
Arena suelta mezclada con grava	455 - 1065
Rocas blandas, grava y arena fina	1000 - 2000
Grava suelta, húmeda	455 - 915
Roca compacta	2000 - 4000
Roca muy compacta	>4000

Nota: Correlación velocidad de ondas P y tipo de suelo. Tomado de Martínez Vargas (1990)

2.4.1.2 Ensayo de Tomografía Eléctrica

Para Díaz (2010), la tomografía eléctrica es un método de resistividad multi-electrónica que se utiliza en la geofísica para estudios 2D y 3D del subsuelo y que consiste en determinar la distribución de resistividades a partir de realizar una gran cantidad de

medidas en la superficie del terreno. La base de dicho método es el empleo de técnicas numéricas como elementos finitos o diferencias finitas.

Este método tiene por objetivo determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, además de detectar y localizar estructuras geológicas, basados en el contraste resistivo del subsuelo. Esto se logra con la inyección de corriente al terreno mediante electrodos metálicos, que se desplaza de forma tridimensional y puede variar por diferentes factores como saturación de agua, contenido de minerales, porosidad.

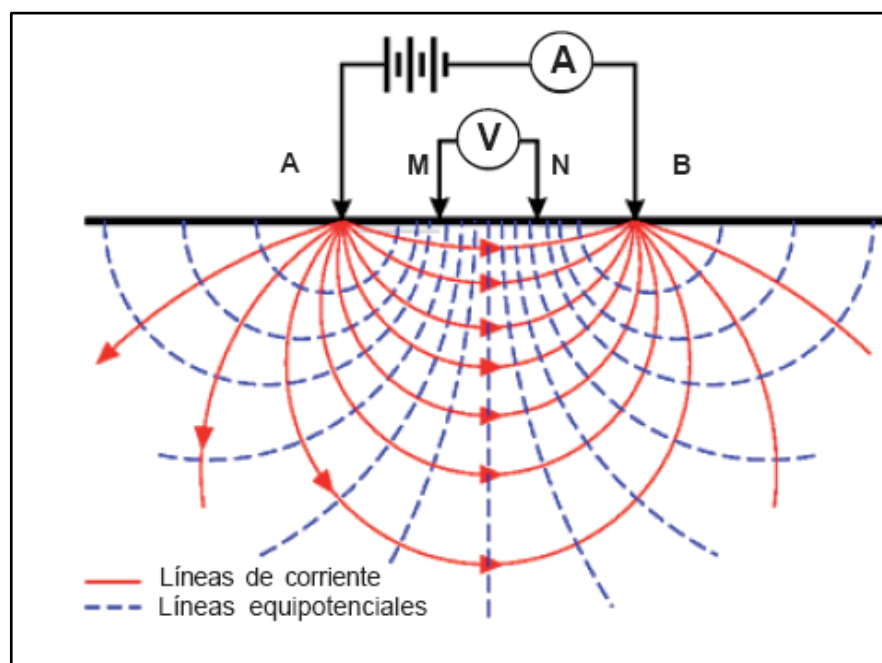


Figura 2 Esquema Básico del Método de Resistividad. *Nota:* el comportamiento de la corriente inyectada en el subsuelo, donde A y B son los electrodos de corriente, y M-N los electrodos de potencial. Tomado de Díaz (2010).

De acuerdo a la **figura 2** muestra los métodos convencionales, solo precisan 4 electrodos y se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente A y B conectados a un miliamperímetro, mientras que con los otros dos electrodos M y N y que están conectados a un



milivoltímetro, se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos, parámetro a partir del cual podremos calcular el valor de la resistividad en el punto medio del dispositivo y a una profundidad determinada. **Díaz (2010)**.

2.4.2 Mecánica de Rocas

Según **Bieniawski (1979)**, define que la mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos y de sus respuestas ante la acción de las fuerzas aplicadas en su entorno físico. Los distintos ámbitos de aplicación de la mecánica de rocas se pueden agrupar en aquellos en que la roca constituye la estructura principal en excavaciones, túneles, galerías, taludes, casas de máquina. Aquellos en que la roca es el soporte de otras estructuras cimentaciones de presas.

2.4.3 Clasificación Geomecánica

La clasificación geomecánica evaluación el macizo rocoso que se estudia a partir de observaciones de campo y ensayos simples.

2.4.3.1 Calidad De Rocas RQD

De acuerdo a **Deere et al. (1967)**, La denominación de la calidad de rocas Rock Quality Designation (RQD) fue desarrollado por para evaluar cuantitativamente la cualidad del macizo rocoso, basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

Tabla 5

Relación Entre el Valor del RQD y la Calidad de la Roca

RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Nota: valoración de RQD y calidad de roca. Tomado de Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988. *The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.*

2.4.3.1.1 RQD en testigos diamantinos

Según **Deere et al. (1967)**, menciona que los testigos diamantinos tienen un mínimo diámetro de igual o superior a 57.4 mm, y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo. Por otro lado, el RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo.

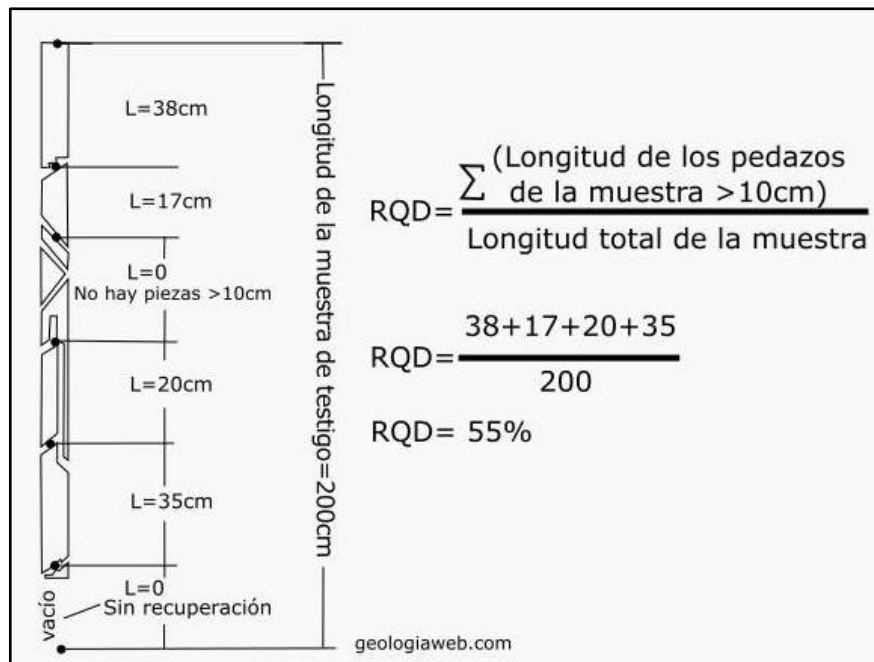


Figura 3 Cálculo de RQD en Testigos Diamantinos. *Nota:* Calculo de RQD en testigos Diamantinos Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988. The rock quality RQD designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.

2.4.3.2 Valoración del macizo rocoso

De acuerdo a **Bieniawski (1976)**, menciona la valoración del macizo rocoso Rock Mass Rating (RMR), es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. Se muestran las ecuaciones relacionadas entre RMR y los parámetros resistentes En la siguiente tabla 6.

Tabla 6

Clasificación Geomecánica.

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	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-	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	1-5 mm	> 5 mm			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	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			
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			

Nota: Parámetros y Rango de Valores Para la clasificación geomecánica. Tomada de Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

2.4.4 Exploración con perforaciones diamantinas

Para obtener datos geomecánicas de la roca de fundación de la presa, deben realizarse investigaciones del macizo rocoso, llevando a cabo un programa de perforaciones a diamantina distribuidas en toda el área de la fundación, de manera que permitan un conocimiento amplio del subsuelo y que proporcionen información sobre las



condiciones específicas de la roca, tales como la calidad, tipo de roca, fracturamiento y fallas.

Adicionalmente, durante la investigación de la roca de fundación, deben efectuarse ensayos de permeabilidad tipo lugeon, para definir los requerimientos de impermeabilización del subsuelo, de modo que en función de las características de la roca y de sus condiciones de permeabilidad, se puedan diseñar las inyecciones necesarias.

2.4.4.1 Ensayos de permeabilidad

Según **Whitlow (1994)**, menciona que los estudios de permeabilidad se pueden agruparlos en rangos donde se puede catalogar o valorar estos resultados de tal forma que sirvan como guía frente a la necesidad de planificar futuras intervenciones geotécnicas en el cierre con métodos geotécnicos que permiten mejorar estos resultados.

2.4.4.1.1 Prueba de lugeon

De acuerdo a **Whitlow (1994)**, este ensayo consiste específicamente en inyectar agua en tramos de perforación, lo cual tiene como objetivo el caudal de flujo de aguas en las fisuras o fracturas que se puedan presentar en las rocas. Estos ensayos se realizan en tramos según el avance de perforación y la presión del agua se aumenta según el tipo de roca y RQD. La unidad llamada lugeon corresponde a una filtración de 1 litro de agua por minuto con una presión de inyección de 10 kg/cm².

Tabla 7

Valores de Lugeon.

Rango de lugeon	clasificación	Rango de conductividad hidráulica (cm/sec)	Discontinuidades de la roca	Precision lectura
<1	Muy baja	$<1 \times 10^{-5}$	Muy apretada	<1
1-5	baja	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Apretada	± 0
5-15	moderada	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Pocas abiertas	± 1
15-50	medio	$6 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-4}$	Algunas abiertas	± 5
50-100	alta	$6 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-3}$	Muchas abiertas	± 10
>100	Muy alta	$>1 \times 10^{-3}$	Abiertos o huecos	>100

Nota: *Condiciones Normalmente Asociadas con Diferentes valores de lugeon. Tomado de whitlow, (1994). Fundamentos de mecánica de suelos.*

Tabla 8

Valores de Permeabilidad.

Grado de permeabilidad del suelo	
Grado de permeabilidad	Conductividad hidráulica 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	Menos a 10^{-7}

Nota: *grado de permeabilidad del suelo sugeridos por Whitlow. Tomado de whitlow, (1994). Fundamentos de mecánica de suelos.*

2.4.5 Análisis de estabilidad de taludes

Según Kliche (1999), “*Es importante que estos ingenieros comprendan la teoría básica de la estabilidad de taludes en roca especialmente de tratar de interpretar y aplicar los resultados*”



De acuerdo **González (2002)**, describe que los estudios de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan inconvenientes de inestabilidad. Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podría causar su rotura, etc. Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1.5, e incluso 2.0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en los cálculos.

2.4.6 Cimentación de presas

Para **Ray & Joseph (1978)**, define que las cimentaciones es la parte que ocupa la estructura de la presa, a través de la cual se transmiten las cargas al terreno, tanto las producidas por la presión hidrostática como las del peso propio de la estructura. La cimentación debe proporcionar un apoyo estable para el terraplén en todas sus condiciones de carga y saturación. Debe tener resistencia a la filtración para evitar daños por erosión y pérdidas de agua.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Los materiales, herramientas y equipos que se emplearon para la obtención de datos geológicos y geotécnicos para elaborar los planos y realizar el trabajo de investigación, a continuación, se menciona:

3.1.1 Materiales, herramientas y equipos.

Los materiales que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, son los siguientes:

- Formatos de registro.
- Planos.
- Ábacos y tablas.
- Libreta de notas.
- Tableros acrílicos A4.
- Útiles de escritorio.
- Bolsas de muestreo.

Se utilizaron para la recolección de datos para la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, son los siguientes:

- Brújula Brunton.
- Protactor.
- Lupa de geólogo.
- Cámara fotográfica digital.
- Flexómetro.



- Winchas.
- Softwares especializados.
- Martillo de geólogo.

Los equipos utilizados en este trabajo de investigación son los siguientes:

- Laptop.
- GPS.
- Equipo de geofísica
- Equipo para ensayos in situ para determinar la permeabilidad.
- Equipos para las perforaciones diamantinas.
- Movilidad para trasladar personal y equipos.
- Cámara fotográfica.
- Impresora.
- Equipos de laboratorio-

3.2 MÉTODOS

Los métodos de investigación son de tipo descriptivo y cuantitativo. Donde se enfoca la investigación básica a través del análisis e interpretación de datos recolectados de las características geológicas y geotécnicas del área de estudio. El cual se desarrolló en las etapas de gabinete, campo y laboratorio. Para ellos se describe en la tabla 9.

Tabla 9

Etapas de Trabajo de la investigación.

Etapas	
TRABAJO PRE-CAMPO	<ul style="list-style-type: none">▪ Recopilación de información preliminar, libros y artículos.▪ Fotointerpetación geológica de las áreas de la presa con imágenes satelitales y elaboración de mapas pre-campo.▪ Elaboración de formatos de campo y ubicación de puntos de exploración.
TRABAJO DE CAMPO	<ul style="list-style-type: none">▪ Reconocimiento de campo.▪ Toma de datos cartografiado geológico geomorfológicas, litológicas, estratigrafía, estructural y todos los datos geotécnicos de suelo y roca.▪ Estudios geotécnicos, a través de perforaciones diamantinas que fueron evaluados con ensayos de permeabilidad, entre otros▪ Muestreo de rocas en testigos diamantinos para su análisis en laboratorio.
TRABAJO EN LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none">▪ Proceso de muestras en laboratorio de suelos y rocas.
TRABAJO DE GABINETE	<ul style="list-style-type: none">▪ Interpretación de información y datos recolectados.



-
- Elaboración de planos y mapas del área de estudio.
 - Redacción del trabajo de investigación.
-

3.2.1 Actividad de gabinete inicial

Se realizaron la recopilación de datos a nivel regional y local como la litoestratigrafía, así también el relieve como geomorfología, geología estructural donde se puedan presentar fallas principales a nivel local, geodinámica externa. Estos se desarrollaron mapas con imágenes satelitales.

Se verificaron y analizaron imágenes satelitales del área de la presa, descartando así agentes externos que pueden afectar durante y después de la construcción de la presa. Estos agentes tienen que ser verificados en la etapa de campo, principalmente de fallas geológicas.

3.2.1.1 Geotecnia en los estudios preliminares

Según **Marsal y Reséndiz (1975)**, menciona que la primera etapa del análisis de la construcción de una presa, los estudios geológicos desempeñan un papel fundamental para conocer la calidad y características de los materiales que constituyen cada una de las alternativas del sitio donde se deberá construir la cortina; sin embargo, estos estudios deben continuarse a las etapas de anteproyecto, proyecto e inclusive en la construcción de la obra. Las investigaciones geológicas que deben de realizarse en cada etapa se describen en la siguiente tabla 10.

Tabla 10

Investigaciones Geológicas en Presas.

FASE DE ESTUDIO	TIPOS DE INVESTIGACIONES <i>SITU</i>	DE IN	PRESAS DE HORMIGÓN	PRESAS DE MATERIALES GRADUADOS
Estudios previos y de factibilidad	Mapas geológicos regionales		S	S
	Fotointerpretación e imágenes de satélite	e	S	S
	Reconocimientos geológicos de superficie y cartografía geológico-geotécnica preliminar		S	S
	Cartografía geológico-geotécnica de detalle (1:2,000-1:1,000)		S	S
Anteproyecto	Datos hidrogeológicos		S	S
	Sísmica de refracción y sondeos eléctricos verticales		S	S
	Sondeos geotécnicos Instalación de piezómetros		S	S
	Ensayos en el interior de sondeos (<i>downhole</i> y dilatómetros)		S	O
	Ensayos de materiales: resistencia, permeabilidad, etcétera.		S	S
	Cartografía geotécnica complementaria		R	O
Proyecto	Sondeos geotécnicos complementarios		R	O
	Ensayos <i>in situ</i> a gran escala de deformabilidad y resistencia		R	N
	Ensayo de inyecciones - Ensayo de permeabilidad complementarios		R	N
	Cartografía geotécnica de las excavaciones y cimentaciones		S	S
Construcción	Ensayos <i>in situ</i> de verificación de tratamientos		S	S
	Ensayos de control de materiales		S	S

Nota: Investigaciones recomendadas para el estudio de presa. Tomado de Flores B. R. donde. S: necesario; R: recomendable; O: opcional; N: no necesario. Según los autores Marsal y Reséndiz (1975).

3.2.2 Actividades de Campo

Se realizaron trabajos de campo.

De acuerdo a **Marsal y Reséndiz (1975)**, las actividades de mayor importancia de las investigaciones geológicas es la cartografía geológica-geotécnica de las diferentes partes que comprende una presa, ya que es la base para establecer la caracterización de la matriz rocosa, de las discontinuidades y del macizo rocoso. Con esta información se define tanto la permeabilidad como la estabilidad del vaso y la boquilla, así como la búsqueda de bancos de material de préstamo. Para obtener información del subsuelo existen diversas técnicas que se utilizan en el estudio de presas, como son los sondeos de reconocimiento, ensayos de permeabilidad.

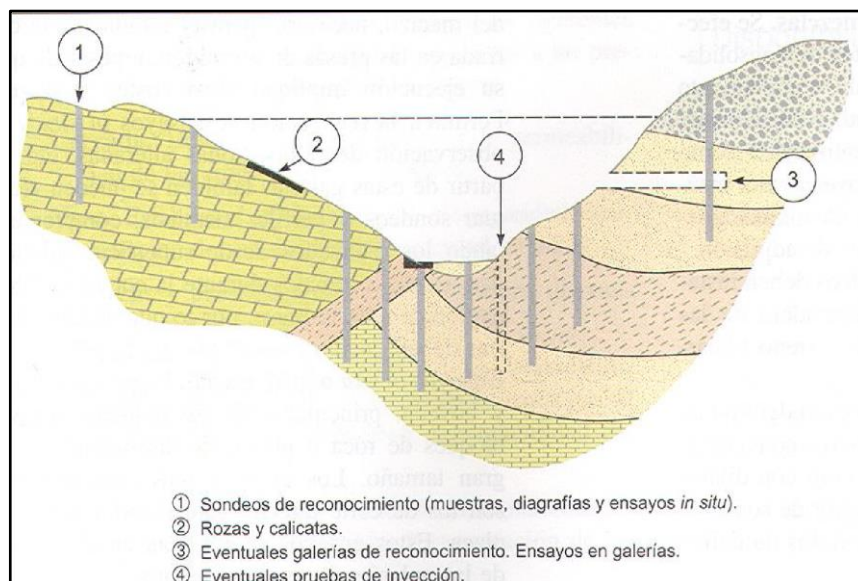


Figura 4 *Métodos de Exploración en Presas. Nota: Estudio geotécnicos con perforación diamantina. Tomado de Flores B. R. (2016) donde 1. Sondeos de reconocimiento. 2. Rozas y calicata. 3. Ensayos de galería. 4. Pruebas de inyección. Según los autores Marsal y Reséndiz (1975).*

En los estudios geológicos para presas es de suma importancia la descripción y caracterización de las propiedades geométricas de las discontinuidades del macizo rocoso

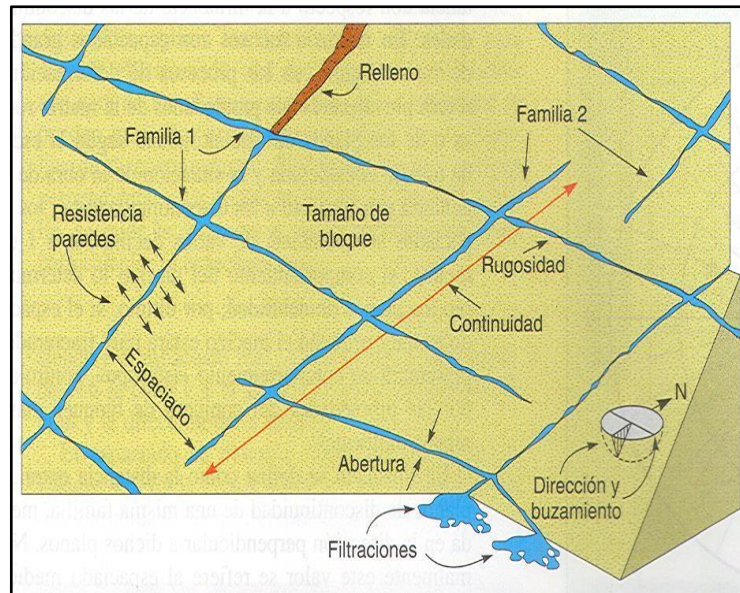


Figura 5 *Discontinuidades en un Macizo Rocos.* **NOTA:** propiedades geométricas de las discontinuidades del macizo rocoso. Tomado de Flores B. R. (2016)

Con base en la información litológica y estructural se procede a efectuar una zonificación del macizo rocoso, a fin de realizar una clasificación geomecánica que permita obtener índices de calidad, para proporcionar recomendaciones de evaluación de propiedades mecánicas del macizo rocoso. estabilidad de excavaciones y revestimientos, si son requeridos, taludes, y estabilidad de excavaciones en rocas. **Flores B. R. (2016).**

Todas las clasificaciones son importantes para los resultados finales de resistencia de la matriz rocosa, el espaciamiento de las discontinuidades RQD el cual muestra el fracturamiento dependiendo de las medidas las cuales son consideradas mayores a 10 centímetros, las condiciones y relleno de las discontinuidades evidencia las intensidad de movimientos internos y la presencia de filtraciones en las áreas investigadas; sin embargo, la clasificación SRC considera el estado tectónico y de tensión del macizo rocoso las cuales pueden ser de vital importancia para evitar futuros colapsos por movimientos sísmicos.



3.2.2.1 Mapeo geológico

Mediante un recorrido de la zona de estudio áreas del dique proyectado y embalse, se identificó la litoestratigrafía, geomorfología, geología estructural y agentes geodinámicas que puedan presentarse en el proyecto las cuales fueron descritas detalladamente. La evaluación geológica local recomienda el reconocimiento de las unidades litoestratigráficas principales o de mayor relevancia y que con esta información se podrá evaluar los principales componentes de los materiales.

En el área de estudio se emplaza sobre depósitos cuaternarios conformados en la superficie de gravas, arenas y limos, estos materiales cubren la parte superficial del basamento rocoso. Estos diversos procesos morfodinámicos locales se desarrollaron en el área de la presa, por la interacción de los factores fisicoquímicos y de los procesos geodinámicas principalmente por erosión y transporte de sedimentos.

La identificación de las diferentes geoformas en el área de la presa, ha sido determinada tomando en cuenta según su relieve o la topografía, pendiente o inclinación del terreno, características litológicas como roca y suelo según su formación, edad de formación de las unidades estratigráficas, características estructurales.

3.2.2.1.1 Perforaciones diamantinas

Se realizaron cinco (05) pozos de perforaciones diamantinas, las cuales fueron ubicadas en el eje de la presa proyectada, según la geología y las áreas de interés, estas perforaciones cuentan con recuperación de muestras, completando en toda la campaña con un total de 151.10 metros lineales.

Tabla 11*Ubicación de puntos de perforación.*

SONDAJ E	COORDENADAS UTM (WGS84)			PROF (m)	INCL (°)	AZIMU T (°)	UBICACIÓN
	ESTE	NORTE	COTA (msnm)				
DHP-01	616372.24	8406509.79	4437	10.30	90°	0°	Estribo Derecho
DHP-02	616375.99	8406404.71	4335	11.90	90°	0°	Estribo Izquierdo
DHP-03	616389.68	8406483.70	4334	15.80	90°	0°	Cauce eje presa
DHP-04	616361.35	8406452.44	4334	10.40	90°	0°	Cauce eje aguas abajo
DHP-05	616369.27	8406456.97	4335	11.50	90°	0°	Vaso de presa

En la tabla 11 se muestra los puntos de perforación que se ubicaron con un mapeo previo para la investigación del eje de presa proyectada. Para la ejecución de las perforaciones, el método empleado fue el rotativo, con una máquina diamantina modelo TP-50D; los trabajos de perforación se realizaron con tuberías HQ (63.5 mm.) y NQ (47.6 mm.), con un diámetro de perforación de 96,0 mm. y diámetro de testigos recuperados de 63,5 y 47.6 mm. Respectivamente. Las brocas utilizadas están provistas de esquiras de diamante impregnadas. Como fluido de perforación se utilizó agua de la laguna.

3.2.2.1.2 Ensayo de permeabilidad tipo lugeon

El ensayo se realiza en el interior del sondeo ósea en el pozo perforado, este ensayo puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez finalizada la perforación, esta dependerá de los equipos disponibles para un tipo de ensayo, en este caso se realizaron las pruebas de permeabilidad durante la perforación por tramos a cada 03 metros de profundidad. La longitud del tramo a ensayar queda siempre definida entre el final de la tubería de revestimiento del sondeo y el fondo del pozo perforado lo cual debe quedar libre de revestimiento para saturar de agua.



El procedimiento consiste en saturar de agua el tramo a ensayar y medir el caudal, la presión utilizada debe ser según el tipo de roca y el RQD del mismo, La medida del caudal de admisión se realizó cada minuto en un periodo total de 10 minutos. Para la realización del ensayo es necesario saturar de agua todo el sondeo y/o tramo a ensayar antes de medir tiempos y caudales, observando que el aire es expulsado y que se estabiliza el nivel y la velocidad de descenso, lo que indica que se ha alcanzado el momento del ensayo.

3.3 ACTIVIDADES DE LABORATORIO

3.3.1 Ensayos de laboratorio

De las muestras de testigos diamantinos en el eje de la presa se llevaron a laboratorio para su análisis corte directo, permeabilidad y ensayo triaxial. Las cuales fueron muy importantes en la investigación y futuras decisiones para la proyección de la presa.

3.4 Actividades de gabinete final

3.4.1 Elaboración de planos

Los planos correspondientes a esta investigación, se realizaron con la ayuda de software especializados para ingeniería y con los datos de mapeo en campo. Mapas como la ubicación del área de proyecto, litológico, geomorfológico, perfil geológico. etc. Las cuales fueron procesados a escalas detalladas.

3.4.2 Evaluación de la estabilidad de taludes

La evaluación las condiciones de estabilidad de las zonas críticas de la presa en los procesos constructivos, se realizó el análisis de estabilidad de taludes en condiciones pseudoestáticas en zonas más críticas en las cuales la presa se encuentra.



Para dicho análisis se debe tener en cuenta una serie de factores que influyen en la estabilidad de un talud. Los factores que se toman en cuenta son: geometría del talud, parámetros geotécnicos, características geomecánicas, cargas dinámicas por acción de los sismos, condiciones de flujo de agua, intensidad sísmica, etc. No todos estos factores se pueden cuantificar en un modelo matemático la cual limita algunos alcances más precisos, así también determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, el cual permitirá tener una idea del comportamiento del talud.

Para desarrollar el análisis nos apoyaremos en el software especializado en taludes SLIDE 6.0 es un programa de cálculo de estabilidad de taludes muy usado en el ámbito de la geotecnia, el cual se basa en la simulación de una superficie de posible falla y detalla los factores de seguridad de una determinada área.

3.4.3 Parámetros Geotécnicos del Suelo de Cimentación

Según los estudios realizados en la zona del eje de presa se describió todos los datos necesarios para tener las características geotécnicas en la superficie de suelo y roca, se ha podido determinar también los parámetros geotécnicos y muestrear los materiales constituyentes del suelo para determinar el tipo de cimentación.

3.5 Redacción investigación final

Con los datos obtenidos de los trabajos en gabinete inicial y corroborar con la información preliminar en campo las cuales fueron fundamentales en el desarrollo de la investigación, trabajos realizados en laboratorio y trabajos de gabinete final fueron debidamente procesados y con sus resultados correspondientes, para realizar la redacción de la tesis de investigación final.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN EL ÁREA DE ESTUDIO

El distrito de Chipao se encuentra en la parte sur del Perú, Región Ayacucho, Provincia de Lucanas. La capital de distrito se ubica a 95 km de la capital de la Provincia Puquio, su territorio se extiende en una franja que corre en dirección sureste – noroeste, localizadas en las coordenadas geográficas N 8411514.21 y E 616367, perteneciente la zona geográfica 18S.

La represa Pichccaccocha se encuentra ubicada al N-E del pueblo de Chipao a una altitud de 4500 m.s.n.m.

4.1.1 Ubicación Política:

- Departamento : Ayacucho
- Provincia : Lucanas
- Distrito : Chipao
- Localidad : Villa San José, Santa Rosa

4.1.2 Ubicación Geográfica:

- Este :618000
- Norte :8409000
- Altitud : Entre 3300 - 4344 m.s.n.m.

4.1.3 Accesibilidad al área de estudio

Los accesos principales son: La carretera asfaltada de Andamarca y continua por una vía afirmada hasta Mayobamba y luego a Santa rosa el cual empalma a troca para la represa.

Tabla 12

Distancias y Tiempos de Viaje Para el Acceso a la Zona del Proyecto.

Tramo	Distancia [km]	Tiempo [h]	Accesibilidad	Estado de conservación
Lima – Puquio	607.00	9.00	Asfaltado	Bueno
Puquio – andamarca	80.00	3.50	Asfaltado	Bueno
Andamarca -	22.00	1.00	Afirmado	Regular
Mayobamba – Villa San	8.00	0.30	Trocha	Regular

4.1.4 Clima

En el distrito de chipao el mes con temperatura más alta es en noviembre 16.0°C y la temperatura más baja en el mes de julio 6.6°C, las lluvias de mayor intensidad en el mes de enero 118.1 mm/mes. con una precipitación de almenos 1 milímetro. **Senamhi (2020).**

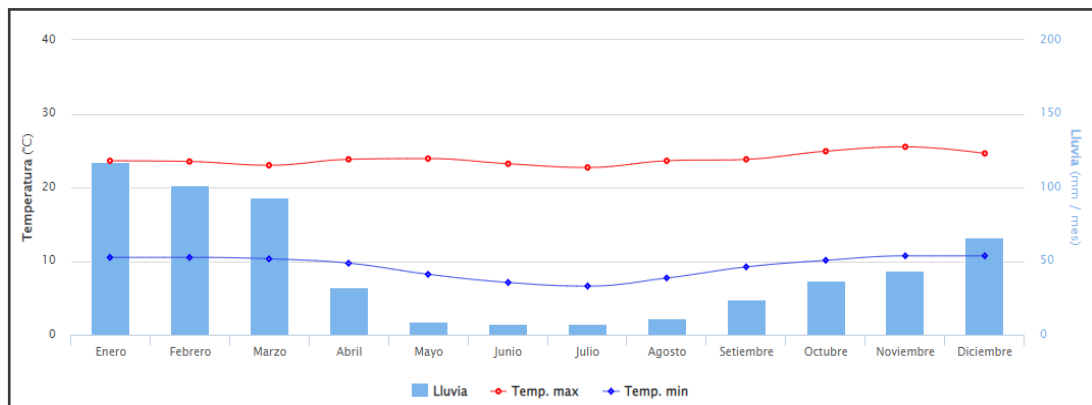


Figura 6 *Grafico del Clima Nota: se muestras la Temperatura Max. y Min entre Enero a Febrero. Tomado de CLIMATE-DATA Senamhi (2020).*

4.2 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Regionalmente pertenece en su mayoría al sistema montañoso de relieve accidentado es decir con niveles muy variados típico de la cordillera de los andes, el cual



está conformando por una cadena de nevados y montañas, mientras que el área del proyecto presenta un relieve homogéneo de terrazas y las áreas aledañas se encuentran conformadas por colinas altas y bajas pendientes. La glaciación cuaternaria es el principal agente de modelado del terreno de la zona de estudio el cual está rodeado de relieve cordillerano en donde se observa las escarpas de rocas volcánicas.

4.2.1 Geomorfología local

Las áreas del presente trabajo de investigación presentan una topografía muy variada, observando sectores con suaves y con altas pendiente, superficies onduladas que contrastan con paisajes agrestes típico de la cordillera de los andes.

En general en todo el rededor de la presa y zona de embalse podemos apreciar afloramientos de rocas dioritas y andesitas en forma de escarpas estructurales en las que se han formado lagunas como las de este presente proyecto. Se pueden apreciar las siguientes unidades geomorfológicas:

4.2.1.1 Relieve cordillerano

Esta unidad comprende entre 4300 a 4800 m.s.n.m. Constituidos de nieves perpetuas, producto de las últimas glaciaciones más recientes en la zona de las lagunas Pichccacocha, presenta fuertes pendientes y escarpas de rocas, los mismos que son afectados por desprendimientos laterales y caída de bloques de rocas dioritas y andesitas, los mismo que forman detritos de roca descompuesta en las partes bajas.

4.2.1.2 Colinas

El área de estudio representa elevaciones con pendientes de 34° estan compuestas por rocas diorita y material cuaternario en algunos casos. En esta unidad se desarrolla



gran parte del control litoestructural existente en la zona de estudio. El cual rodea casi toda el área de las lagunas presentes.

4.2.1.3 Laderas

Se encuentran en baja pendiente con un aproximado de 25° estos debido a los procesos de desgaste que son depositadas en las faldas de las colinas, los materiales que componen esta unidad son las dioritas y una gradación de los materiales cuaternarios.

4.2.1.4 Terrazas

La zona de estudio también presenta terrazas aluviales que constituyen pequeñas plataformas sedimentarias y zonas con basamento rocoso diorita y en algunos casos rocas andesitas volcánicas y sedimentos depositados a los lados del cauce.

4.2.1.5 Escarpas

En el proyecto se puede distinguir por las geoformas que tienen una pendiente abrupta de aprox. 75° y estas la forman las rocas dioritas y andesitas que rodea la mayor zona del proyecto. Sin embargo, cabe mencionar estructuralmente las rocas presenta fracturas superficiales el cual lleva a desprendimiento y colapsos.

4.3 GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO

La información se basada a una escala regional se emite en función a la investigación geológica estratigráfica del INGEMMET, cuadrícula 29 o geología de Querobamba. el cual se describirá de forma cronológica según la edad geológica de las distintas formaciones presentes. El cual se desarrolla con mayor detalle en la geología local.



4.3.1 Geología local

4.3.1.1 Cenozoico (neógeno – cuaternario)

4.3.1.1.1 Cuaternario aluvial (Q-al)

La acción aluvial son formadores de estos materiales las cuales se presenta en el cauce de los riachuelos que conectan el conjunto de lagunas que conforman el pichccaccocha. El cauce fluvial es poco desarrollado con anchos de 1.5 a 2.0 m. aguas debajo de la presa, los materiales cuaternarios que ha sido depositado en el trayecto del cauce están conformados por arcillas, limos, arenas y gravas no consolidadas depositadas por la corriente aguas superficiales y corriente laminares que discurren del conjunto de lagunas. También presenta materiales aluviales que han sido derivados de la glaciación de morrena y de eventos fluvioglaciares de bloques de grava no consolidados. Todo esto se precia en los cortes de los ríos.

4.3.1.1.2 Grupo barroso (NQ-ba)

Las rocas andesitas y dioritas afloran en su mayoría en el área de embalse y eje de presa, siendo una de las características más resaltantes las geoformas presentes ya que presentan escarpas verticales notorias y afloramientos que rodean el área de investigación. Estas rocas presentan un color gris blanco gris claro con presencia de micas de color gris oscuro, en muchos casos silicificadas con intercalaciones de cristales de cuarzo.

4.3.1.1.3 Complejo querobamba - dioritas

Se constituye de cuerpos dioríticos de color claras y oscuras son gradacionales por disminución del cuarzo y aumento de los ferromagnesianos, especialmente clinopiroxenos pasando de tonalitas a dioritas, también presenta minerales de sulfuros como piritita y bornita, las cuales indican una zona de mineralización.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS DE LA PRESA PICHCCACCOCHA

5.1.1 Características geológicas

Se hizo un resumen de la geología regional del área de la presa y en base a ello se pudo realizar lo correspondiente a la geología local, lo cual comprende el eje y los estribos del cuerpo de presa en esta misma base se elaboró el mapa geomorfológico y mapa geológico local, así como los mapeos estructurales microtectónicos en la zona de los estribos.

La geología en el sector de cierre de la presa proyectada, se ha verificado la existencia de rocas de edad Nogeno, conformado por volcánicos de composición andesitas, estas rocas se encuentran emplazadas masivamente y alrededor de proyecto se puede apreciar estas rocas con desprendimiento considerables a manera de un depósito de colapso, esto por la acción del tectonismo andino, estas rocas se encuentra masivo y la superficie se encuentra fuertemente fracturados con discontinuidades en diversas direcciones las que se detallara en la geología estructural. Por otro lado, los materiales cuaternarios como aluvial y fluvio glaciario con componentes gravoso, árenos limosos con potencias superiores hasta los 1.5 mts. Las cuales se encuentran en el cauce del riachuelo aguas debajo del dique proyectado, lo cual consta en los registros de calicatas y testigos de perforación, en correlación con la estratigrafía de la zona se han identificado sectores aguas abajo con presencia de una secuencia de estratos de arenas limosas de origen volcánico, es decir que a estas rocas andesitas volcánicas subyace al material volcánico piro clástico silicificado moderadamente compactos.



5.1.1.1 Petrología Descripción Macroscópica

La roca predominante en el área de estudio es la andesita donde fueron muestreadas del afloramiento superficial las cuales pertenecen a las coordenadas **N: 8406364.45** y **E: 616379.52**. se realiza la descripción macroscópica donde se detallan en la **tabla 13** y la **figura 7**.

Tabla 13

Descripción de Muestra del Eje de Presa.

MUESTRA	C-1
Nombre De Roca:	Andesita
Clase Según Origen	Roca Volcánica
Color:	Gris oscuro
Minerales Visibles Y/O Componentes	Augitas plagioclasas sódica
Tamaño De Grano	<0.05 mm
Textura:	afanítica
Grado De Cohesion:	Alto
Grado De Dureza	Duro
Grado De Alteracion	bajo
Fracturas:	Fracturas con baja continuidad
Material Relleno De Fractura	Oxidos de fierro, y patinas de limonita
GRADO DE RESISTENCIA (Compresión Simple)	820 kg/cm ²
Reaccion Al Hcl.	Ninguno



Figura 7 *Muestra de Roca Superficial. Nota: muestra de roca andesitas tomadas en el estribo izquierdo con coordenadas N: 8406404.71 y E: 616375.99.*

La geomorfología presente del área de estudio esta sobre los 4330 m.s.n.m. presentan unidades geomorfológicas de los sistemas montañosos, volcánicos, fluviales y antrópico. Estas geoformas diferenciadas en la zona se han producido por agentes tectónicos y eventos volcánicos recientes, estos ambientes geomorfológicos están muy ligado al proceso del levantamiento andino, eventos volcánicos recientes y agentes hídricos, estos asociados a eventos de glaciación y desglaciación, procesos de movimientos en masa, etc. Esto se puede evidenciar con la presencia de escalones a manera de terrazas las cuales se encuentran las lagunas del pichcaccocha están ubicados en la cabecera de la zona de embalse, mientras que el cierre está conformado por material cuaternario coluvial de poca potencia. Aguas abajo se puede apreciar el impacto del agente hídrico como la profundización y ensanchamiento de quebradas y valles.

5.1.2 Características geotécnicas

5.1.2.1 Resultados de estudios geofísicos

5.1.2.1.1 Ensayo de refracción sísmica.

Se realiza el ensayo para tener los datos en profundidad las cuales complementaran a la perforación diamantina y otros ensayos. El cual consiste en la medición de las ondas compresionales denominados ondas P. Se proyectó las líneas de exploración en el eje de presa y aguas arriba, los resultados se detallan en la **tabla 15**.

Tabla 14

Ubicaciones de las Líneas de Ensayo de Refracción Sísmica.

Línea N°	Coordenada UTM INICIO		Coordenada UTM FIN	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
LRS-01	616433.00	8406489.00	616363.00	8406478.00
LRS-02	616351.05	8406422.06	616347.00	8406487.00
LRS-03	616379.52	8406364.45	616378.00	8406432.00
LRS-04	616296.93	8406452.40	616368.92	8406456.09

Teniendo los puntos de exploración previamente evaluados según las áreas de interés, se realiza el ensayo de refracción sísmica (V_p) donde se obtienen las diferentes velocidades de propagación de ondas compresionales a las capas existente, el resumen se muestra en la siguiente tabla 15.

Tabla 15

Resultado e Interpretación de las Líneas Sísmicas del Eje de Presa.

Ensayo	Estrato - Sísmico	Espesor	Vp (m/s)	Descripción
Línea-01	1	1.6 - 2.7	415 - 1025	Depósito aluvial denso a Macizo Rocoso Volcánico fracturado
	2	4.9 - 6.0	1025 - 2548	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica, ligeramente fracturado a sano.
	3	-	2548 - 2853	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica sano.
Línea-02	1	0.4 - 2.0	818 - 1334	Depósito aluvial denso a Macizo Rocoso Volcánico fracturado
	2	1.1 - 5.0	1334 - 2622	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica, ligeramente fracturado a sano.
	3	-	2622 - 2880	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica sano.
Línea-03	1	1.5 - 2.9	381 - 998	Depósito aluvial denso a Macizo Rocoso Volcánico fracturado
	2	4.7 - 6.7	998 - 2538	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica, ligeramente fracturado a sano.
	3	-	2538 - 2999	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica sano.
Línea-04	1	1.0 - 2.1	705 - 1245	Depósito aluvial denso a Macizo Rocoso Volcánico fracturado
	2	2.8 - 4.3	1245 - 2595	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica, ligeramente fracturado a sano.
	3	-	2595 - 2865	Macizo rocoso volcánico de composición ande sitica sano.

Fuente: *especialista INGEOTECN.*

En la **tabla 15** se muestra los resultados de la exploración de las 4 líneas las cuales presentan en su mayoría 3 estratos el cual indica 3 tipos de materiales presentes a profundidad.

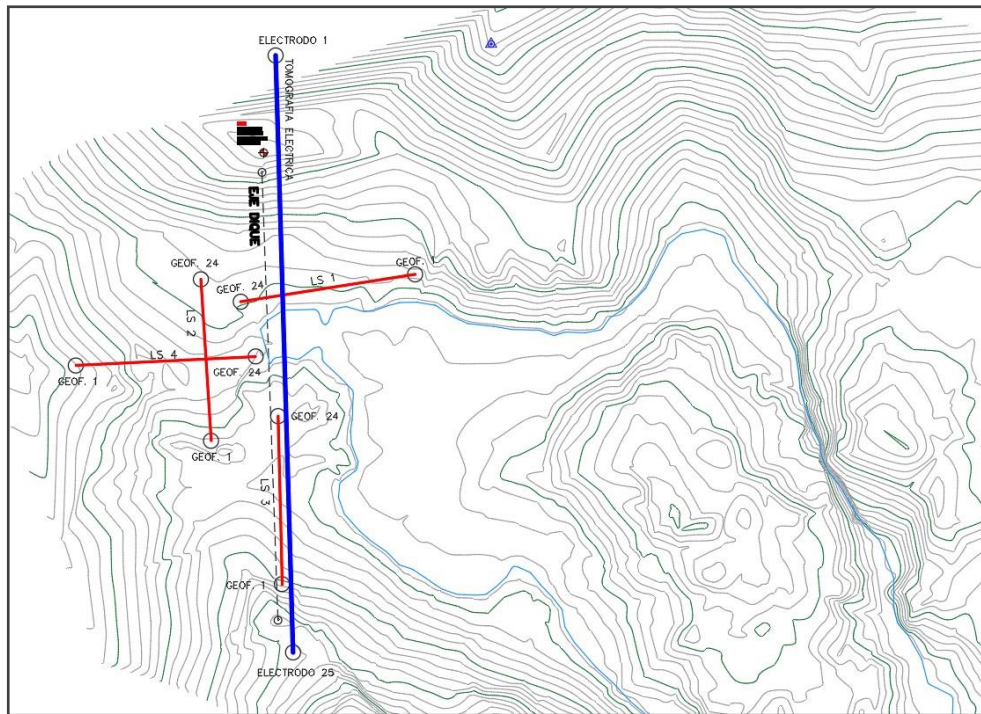


Figura 8 Ubicación de las Líneas Sísmicas y Tomografía eléctrica.

En la **figura 8** se muestra las líneas de ensayos sísmicos y el ensayo de tomografía eléctrica las cuales fueron ubicadas paralelo a eje de presa y áreas de interés.

5.1.2.1.2 Ensayo de Tomografía Eléctrica.

En los trabajos de campo que se realizaron con los equipos de tomografía eléctrica. Se corroboraron un incremento progresivo de la rigidez del terreno con la profundidad, las cuales evidencia la presencia de rocas masivas. Mediante el ensayo de tomografía eléctrica se obtuvieron los valores de resistividad de los materiales para diferentes estratos las cuales se detallan en la tabla 16.

Tabla 16

Resultado e Interpretación de la Línea Eléctrica

Tomografía Eléctrica	Estrato	Espesor	Rho (Ohm*m)	Descripción
Línea LTE - 01	1	3.0 - 6.0	53.0 - 215.0	Depósito aluvial denso a Macizo Rocoso Volcánico fracturado. Estrato con saturación baja a moderado.
	2	12.0 - 46.0	6.5 - 432.0	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica, ligeramente fracturado a sano. Estrato con saturación moderada.
	3	-	432.0 <	Macizo rocoso volcánico de composición andesítica sano. Estrato no saturado.

Fuente: especialista INGEOTECN.

En la tabla 16 se muestra 3 estratos de diferente espesor el cual muestra los materiales a diferentes profundidades el cual se asume valores de respectivos. Según los resultados de la tomografía eléctrica.

En el siguiente figura ser muestra un mapa de calor donde se demuestra las diferentes resistencias y características de los materiales de suelo y roca.

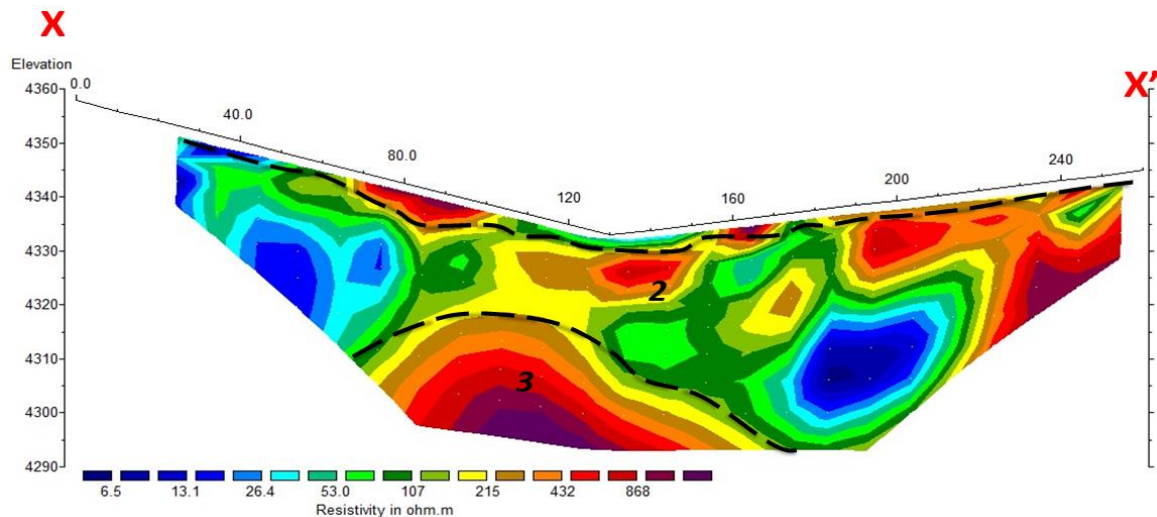


Figura 9 Tomografía Eléctrica Resultados. *Nota: desarrollado por laboratorio INGEOTECOM.*

En la **figura 9** se muestran los resultados de la exploración de los materiales predominante en el área del eje de presa. Las cuales en una etapa de construcción no pueden ser excavados con equipos convencionales debiéndose usar martillos de potencia adecuada, no se recomienda el uso de explosivos ya que esto generaría fracturas internas y futuras filtraciones, de igual forma es necesario impermeabilizar hasta la capa 2, pudiendo ser con inyecciones de lechada de cemento.

5.1.2.2 Resultados de estudios de perforación diamantina.

En la etapa de investigación con perforación diamantina con fines geotécnicos, se a realizado y obtenido muestras de testigos con un diámetro HQ con coronas de diamante y circulación de agua, basándose a las normas de la Diamond Core Drill Manufacture Association (D.C.D.M.A.), el cual nos muestran resultado de la presencia de roca y las profundidades de contacto con los diferentes afloramientos y/o tipos de rocas, así también cabe recalcar se desarrollaron conjuntamente los ensayo de permeabilidad a cada 5.00 m de profundidad en promedio.

5.1.2.2.1 Ubicación de las perforaciones diamantina

Se realizo la perforación en 05 pozos para exploración e investigación, los que están ubicados en cierre de la presa proyectada, donde se proyectara el dique del proyecto Pichcaccocha. Se muestra la ubicación de los pozos en la siguiente **tabla 17**.

Tabla 17*Ubicación de los Sondajes Diamantinos de Área de Investigación.*

SONDAJ E	COORDENADAS UTM (WGS84)			PROF (m)	INCL (°)	AZIMU T (°)	UBICACIÓN
	ESTE	NORTE	COTA (msnm)				
DHP-01	616372.24	8406509.79	4437	10.30	90°	0°	Estribo Derecho
DHP-02	616375.99	8406404.71	4335	11.90	90°	0°	Estribo Izquierdo
DHP-03	616389.68	8406483.70	4334	15.80	90°	0°	Cauce eje presa
DHP-04	616361.35	8406452.44	4334	10.40	90°	0°	Cauce eje aguas abajo
DHP-05	616369.27	8406456.97	4335	11.50	90°	0°	Vaso de presa

En la **tabla 17** muestra la descripción de los sondajes ejecutados de los pozos, distribuidos según la geología del área de estudio y zonas de interés. Luego de ello se realizó el logeo geotécnico y las respectivas pruebas de permeabilidad con ensayos de lugeon, también se llevó un monitorio a detalles el control del nivel freático con piezómetros de casa grande, ubicados en el eje de presa y aguas debajo de la presa proyectada, por lo tanto, se tuvo que llevar las medidas estrictas de seguridad para su investigación.

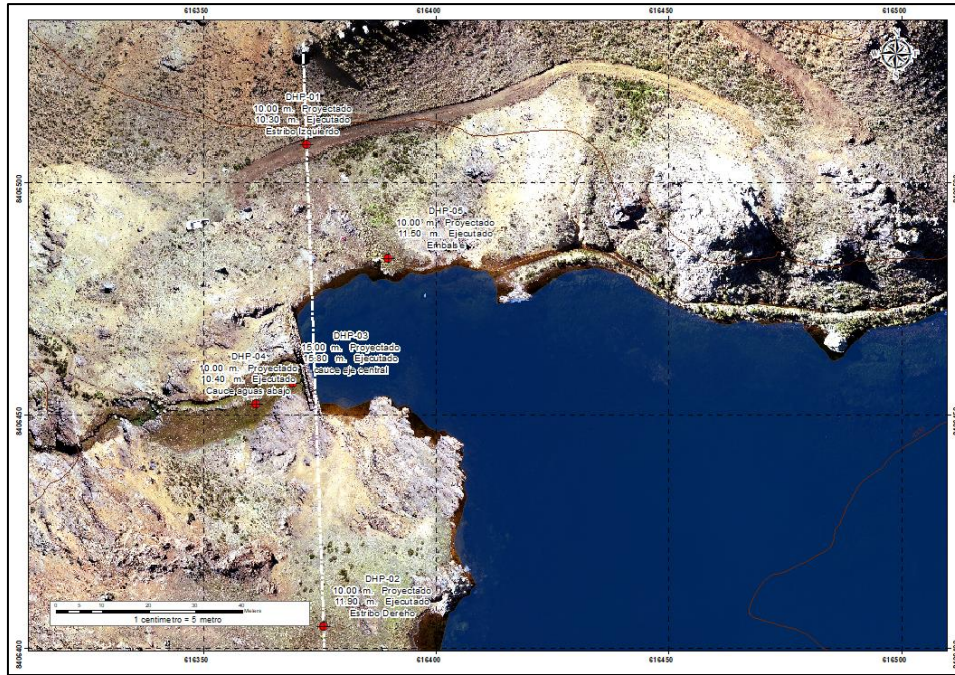


Figura 10 Imagen satelital y ubicación de sondajes de diamantina en el sitio de la presa.

En la **figura 10** se muestra la los puntos de perforación en el eje de presa proyectada. Los cuales fueron evaluadas y descritas en los formatos de ensayos de permeabilidad.

5.1.2.2.2 Investigaciones geotécnicas.

Los suelos adyacentes a la estructura de la presa, está conformado por suelos areno limosos de poco espesor y áreas de aferramiento de rocas, los suelos tienen un espesor de aproximado de 0.90 metros, puesto que más abajo es de material compacto de material rocoso andesítica.

En los estudios preliminares y mapeo geológico en campo se ha evidenciado la presencia de afloramientos rocoso muy predominante en la materia de las áreas del cierre de la presa, por lo cual fue necesaria las investigaciones geotécnicas a profundidad con perforaciones diamantinas.

5.1.2.2.3 Caracterización de los Materiales

Conforme se ejecutaron las perforaciones diamantinas se ha determinado la caracterización de los materiales de suelo y roca a través de las muestras de testigos diamantinos, teniendo esta información se realizó la investigación y descripción a diferentes profundidades de muestras de material como suelos y rocas, donde el suelo tiene una capa de 1.60 m en el estribo izquierdo y estribo derecho de 1.30 m. denominados materiales cuaternarios coluviales conformados por arenas, gravas y limos.

Tabla 18

Caracterización de los Materiales en los Sondajes.

SONDAJE	PROFUNDIDAD DE PERFORACION (m)	SUELO (m).	ROCA (m)	NIVEL FREATICO (m)	UBICACIÓN
DHP-01	10.30	0.00 - 1.60	1.60 - 10.30	0.80	Estribo Derecho
DHP-02	11.90	0.00 - 1.30	1.30 - 11.90	1.50	Estribo Izquierdo
DHP-03	15.80	0.00 - 0.60	0.60 - 15.80	0.30	Cauce eje presa
DHP-04	10.40	0.00 - 0.20	0.20 - 10.40	0.40	Cauce eje aguas abajo
DHP-05	11.50	0.00 - 1.10	1.10 - 11.50	0.35	Vaso de presa

En la **tabla 18** se muestra el resumen de la caracterización de los sondajes. En donde la perforación diamantina ha puesto en evidencia de la existencia de roca muy buena, es decir bastante competente con una serie de fracturas rellenas de arcillas en los primeros metros de profundidad, pero a mayor profundidad se ha evidenciado que existe discontinuidades menores en la roca, las mismas que están rellenas de mineralización de cuarzo, piritas entre otros sulfuros, este relleno se muestra bastante silicificado y en algunas zonas inalterado toda vez que no se ha visualizado presencia de óxidos.



Figura 11 Muestra Testigos de Diamantino.

En la **figura 11** se observa los testigos diamantinos del pozo DDH-01 en donde sea evidenciado como interpretación litológica conformado por (marrón = suelos orgánicos, color cremas= rocas andesitas) que se detalla en la **figura 12**, el cual se estima que en profundidad superior a los 15 mts aún persiste de forma masiva y compacta y con presencia de venillas de mineralización. Estos datos se detallan en las partes de perforación del logueo geotécnico donde se muestra la litología y sus propiedades.

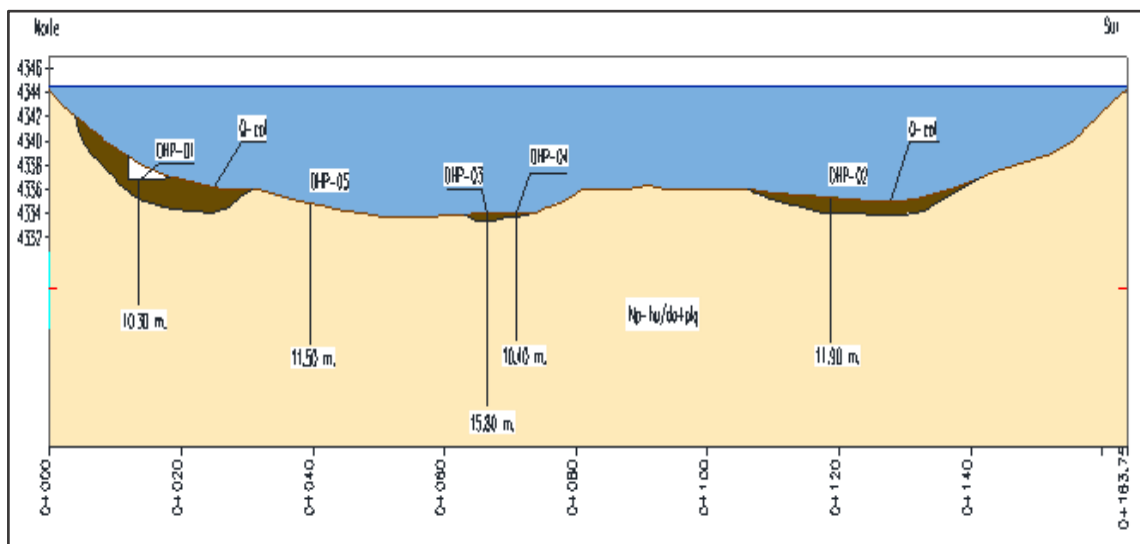


Figura 12 Perfil Litoloestratigrafico del Cierre de la Presa.

En la **figura 12** se muestra la litoestratigrafía de suelo y roca del eje de presa con los 05 puntos de perforación diamantina, donde se evidencia la mayor recuperación de rocas andesitas.

Tabla 19

Resumen de perforación diamantina.

SONDAJE	PROFUNDIDAD DE PERFORACION (m)	SUELO (m).	ROCA (m)	UBICACIÓN
DHP-01	10.30	0.00 - 1.60	1.60 - 10.30	Estribo Derecho
DHP-02	11.90	0.00 - 1.30	1.30 - 11.90	Estribo Izquierdo
DHP-03	15.80	0.00 - 0.60	0.60 - 15.80	Cauce eje presa
DHP-04	10.40	0.00 - 0.20	0.20 - 10.40	Cauce eje aguas abajo
DHP-05	11.50	0.00 - 1.10	1.10 - 11.50	Vaso de presa

En la **tabla 19** se muestra los resultados de suelo y roca (marrón = suelos orgánicos, color anaranjado = rocas andesitas), las cuales evidencian la presencia de materiales cuaternarios y más abajo roca compacta andesitas.

5.2 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE PERMEABILIDAD Y ESTABILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA PICHCCACCOCHA

5.2.1 Resultados geotécnicos de los ensayos de permeabilidad en el cierre.

Conforme se han llevado el avance de la perforación diamantina, se realizó los ensayos insitu de permeabilidad con el método de logeon, se han obtenido resultados favorables en los tramos ensayados en rocas andesitas.

La ejecución de ensayos de permeabilidad se desarrolló en un tramo de 3.00 y 5.00 mts aproximadamente hasta llegar a profundidades mayores. Cabe recalcar que se



realizó antes una evaluación y caracterización de geomecánicas de los testigos de perforación.

Los ensayos lugeon se han realizado en tramo con fracturamiento menor, es decir que el RQD alcance valores mayores a 70%, no se ha encontrado rocas muy fracturadas donde pueda generarse filtraciones futuras.

Tabla 20

Características de los Resultados de los Sondeos Diamantinos.

CODIGO DE PERFORACION	INCL (°)	AZIMUT (°)	PROF. (m)	SUELO (m)	ROCA (m)	NIVEL FREATICO (m)	N° DE ENSAYO PERMEABILIDAD	N° DE CAJA TESTIGO
DHP-01	90°	0°	10.30	1.60	10.30	0.80	2 Lugeon	3
DHP-02	90°	0°	11.90	1.30	11.90	1.50	2 Lugeon	3
DHP-03	90°	0°	15.80	0.60	15.80	0.30	3 Lugeon	5
DHP-04	90°	0°	10.40	0.20	10.40	0.40	2 Lugeon	3
DHP-05	90°	0°	11.50	1.10	11.50	0.35	2 Lugeon	3

En la **tabla 20** se detalla la caracterización de los sondeos diamantinos, donde sea ejecutado ensayos de permeabilidad tipo Lugeon de acuerdo a las características del macizo rocoso con una frecuencia de 3 y 5 metros por ensayo, así como el logueo geotécnico.

Se han realizado ensayos de permeabilidad tipo Lugeón en roca. En las muestras obtenidas se aprecia que los testigos tienen un bajo RQD. En la figura 13 se muestra los resultados obtenidos de la permeabilidad de cada sondeo.

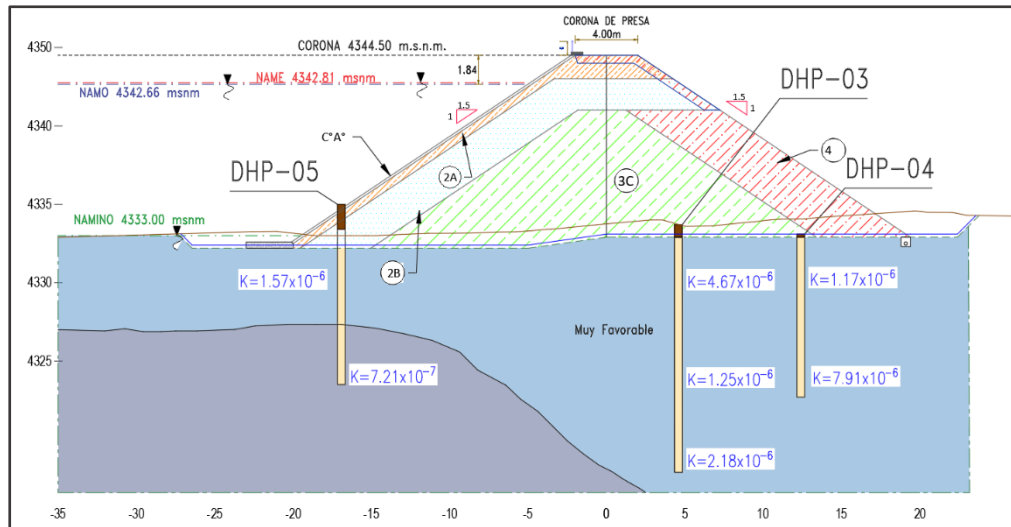


Figura 13 Vista de la Vista Transversal al Eje de Presa.

En la **figura 13** se muestra las diferentes permeabilidades estimadas que se han comprobado como resultados del trabajo de perforación diamantina, se representa en un perfil transversal y un perfil paralelo al eje de presa.

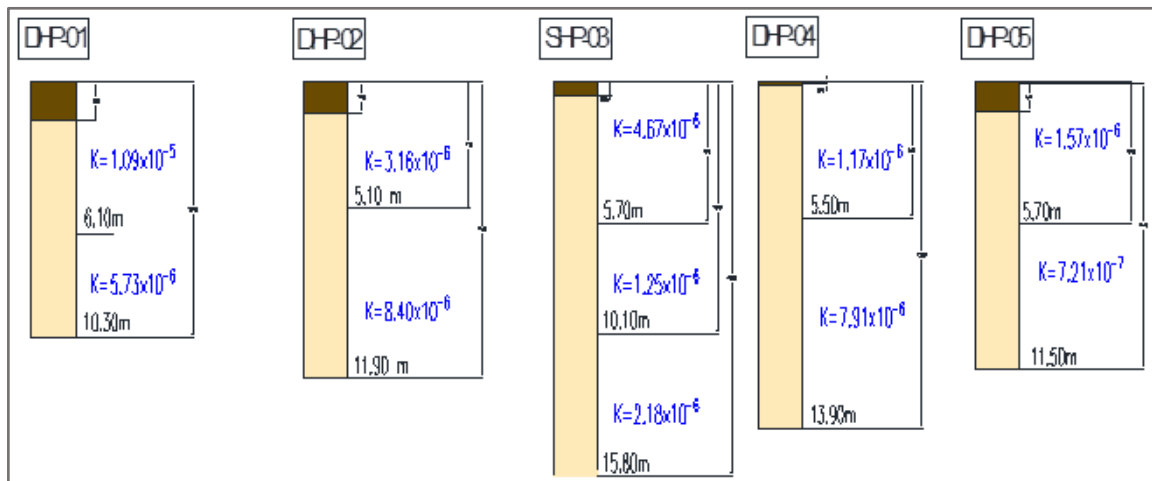


Figura 14 Representación de los Sondajes y el Grado de Permeabilidad Obtenidos.

En la figura 14 podemos observar los resultados de permeabilidad son bastante favorables, toda vez que se obtuvo permeabilidades en promedio de $K=10^{-6}$ e incluso permeabilidades de $K=10^{-7}$, este resultado nos permite concluir que en el eje de presa donde se proyectara el dique, las rocas encontradas presentan un permeabilidad muy

favorables, por tanto no requieren de un tratamiento geotécnico con estos resultados obtenidos en campo.

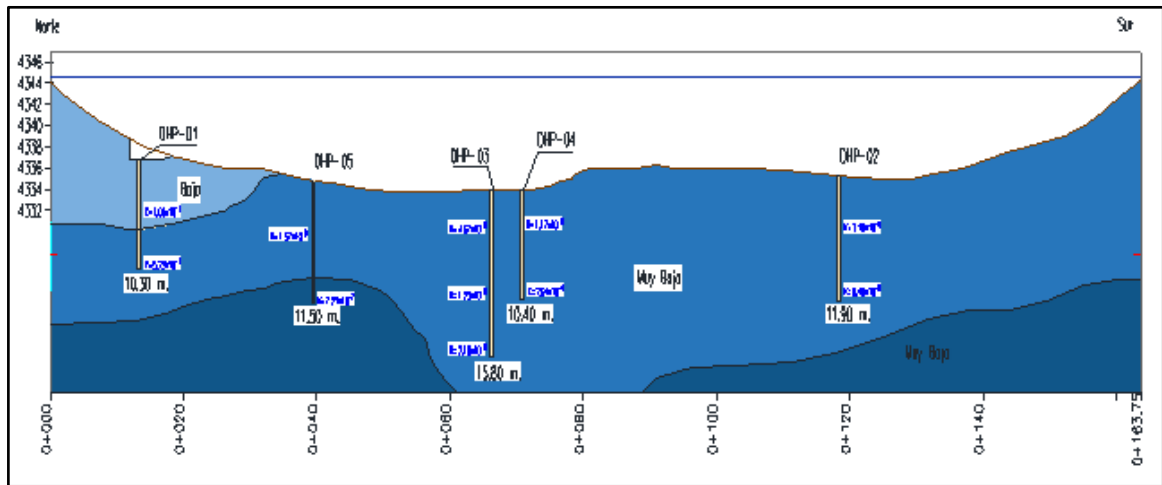


Figura 15 Vista del Perfil Longitudinal al Eje de Presa.

En la **figura 15** el perfil longitudinal se observa que los resultados de los ensayos de permeabilidad han determinado que la fundación de la represa, presenta valores de 10^{-6} , es decir que según wilthlow y hoslby este sector es muy favorable y de baja permeabilidad, por lo tanto, se concluye que las rocas no necesitan de un tratamiento geotécnico, toda vez que se trata de materiales de rocas masivas y bien compacta.

Tabla 21*Resumen de Resultados de Permeabilidad.*

SONDAJES	PROF. (m)	PERMEABILIDAD		U.L.
		K	Cm/S	
DHP-01	6.10	1.09E-05	0.40	
	10.30	5.74E-06	0.20	
DHP-02	5.10	3.16E-06	0.10	
	10.40	8.40E-07	0.00	
DHP-03	5.70	4.68E-06	0.20	
	11.50	1.25E-06	0.00	
DHP-04	5.50	1.18E-06	0.00	
	10.40	7.91E-06	0.30	
DHP-05	5.70	1.58E-06	0.10	
	11.50	7.22E-07	0.00	

Nota: Elaboración Propia

En la **tabla 21** muestra todos los resultados de permeabilidad obtenidos en cada los 05 punto de sondajes ejecutados, con valores favorables para consideración de diseño de presa.

5.2.2 Análisis de estabilidad

En los análisis de la estabilidad de los taludes se ha utilizado las secciones transversales de la topografía actual de la presa y el programa de cómputo, donde se analiza la estabilidad en superficies y zonas de deslizamiento usando métodos de equilibrio límite, también es importante el análisis del núcleo donde puedan generarse deslizamientos individuales o los métodos pueden ser aplicados para buscar y localizar la superficie del deslizamiento crítica para un talud dado.

5.2.2.1 Condiciones de análisis

Para obtener los resultados del análisis de estabilidad se consideraron las siguientes condiciones:



Se ha considerado la sección central de la presa para realizar el análisis, cuya ubicación en planta y perfil se presentan. En el perfil analizado se considera ocho tipos de materiales: el suelo de la cimentación, el material del cuerpo de la presa, material de transición y filtro y cimentación.

Los resultados del análisis se presentan en términos de superficie potenciales de falla. La superficie crítica de deslizamiento o falla es aquella que proporciona el menor factor de seguridad. El coeficiente sísmico de diseño el valor es de 0.20 g para la resultante horizontal. También se ha considerado coeficiente para la resultante vertical.

Se ha considerado para su análisis dos situaciones: aguas arriba y abajo. También tomaron los factores de seguridad mínimos, se ha previsto cuatro criterios correspondientes mencionados.

5.2.3 Sección principal de análisis y Principales características geológicas y geotécnicas

Como mencionado anteriormente la sección de análisis se presenta en la sección máxima es decir donde ocupara su mayor área. El DCL de la sección se muestra en la figura 16, donde se ha identificado los principales tipos de materiales que se empleara en la construcción de la presa, se presenta los valores representativos de los materiales para su modelo y análisis de estabilidad de la presa Pichccaccocha.

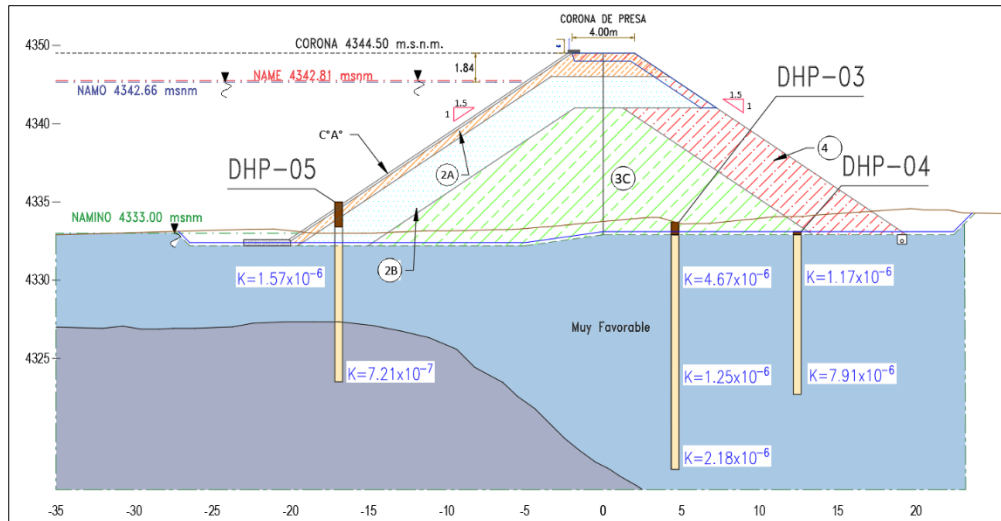









Figura 16 Principales Componentes de la Sección Principal.

En la figura 16 se detalla la sección del dique proyectado, simulados con los materiales que se emplearan en la construcción de la presa. el terreno de fundación previamente evaluado en las rocas, presentan una permeabilidad favorable es decir no necesitan tratamiento geotécnico.

Tabla 22

Parámetros Geotécnicos para el Análisis de Estabilidad.

Material	Tipo	Parámetros						
		Densidad γ kN/m ³	Fricción Φ °	Cohesión n C kN/m ²	Módulo de Elasticidad E MPa	Relación de Poisson μ	Permeabilidad K m/s	
1. Pantalla de C°A°		Hormigón	24	55	1100	28000	0.15	1x10 ⁻⁹
2. Material 2A		Grava limosa	20	38		90	0.35	2x10 ⁻⁶
3. Material 2B		Roca triturada	23	40		100	0.30	1x10 ⁻⁵
4. Material 3C		Roca triturada	26.3	42		100	0.30	3x10 ⁻³
5. Material 4		Roca	21	52		200	0.25	7x10 ⁻³
6. Roca volcánica		Roca	24.3	50	130	1723.4	0.21	7.9x10 ⁻⁸
7. Roca andesita		Roca	24.3	50	130	9722.3	0.30	7.21x10 ⁻⁹

Fuente: los parámetros tomados en la presa según la composición de materiales. Tomado de Marsal y Reséndiz (1975), *Presas de Tierra y Enrocamiento. México.*

En la tabla 22 se muestran los Parámetros han sido obtenidos del Estudio Geológico y Geotécnico realizados, así como se ha complementado con datos de Presas de enrocado de los autores Marsal y Reséndiz (1975) y de estudios similares.

5.2.3.1 Resultados Análisis de estabilidad

Se realizó el análisis de estabilidad para las diferentes condiciones el cual se evaluó con el software SLIDE, esto para determinar áreas críticas o favorables en donde se pueda prevenir posibles fallas y deslizamientos del dique proyectado. se muestra el



esquema actual con los materiales empleados y sus valores respectivos para la evaluación del análisis de estabilidad de taludes, tanto aguas arriba como aguas abajo.

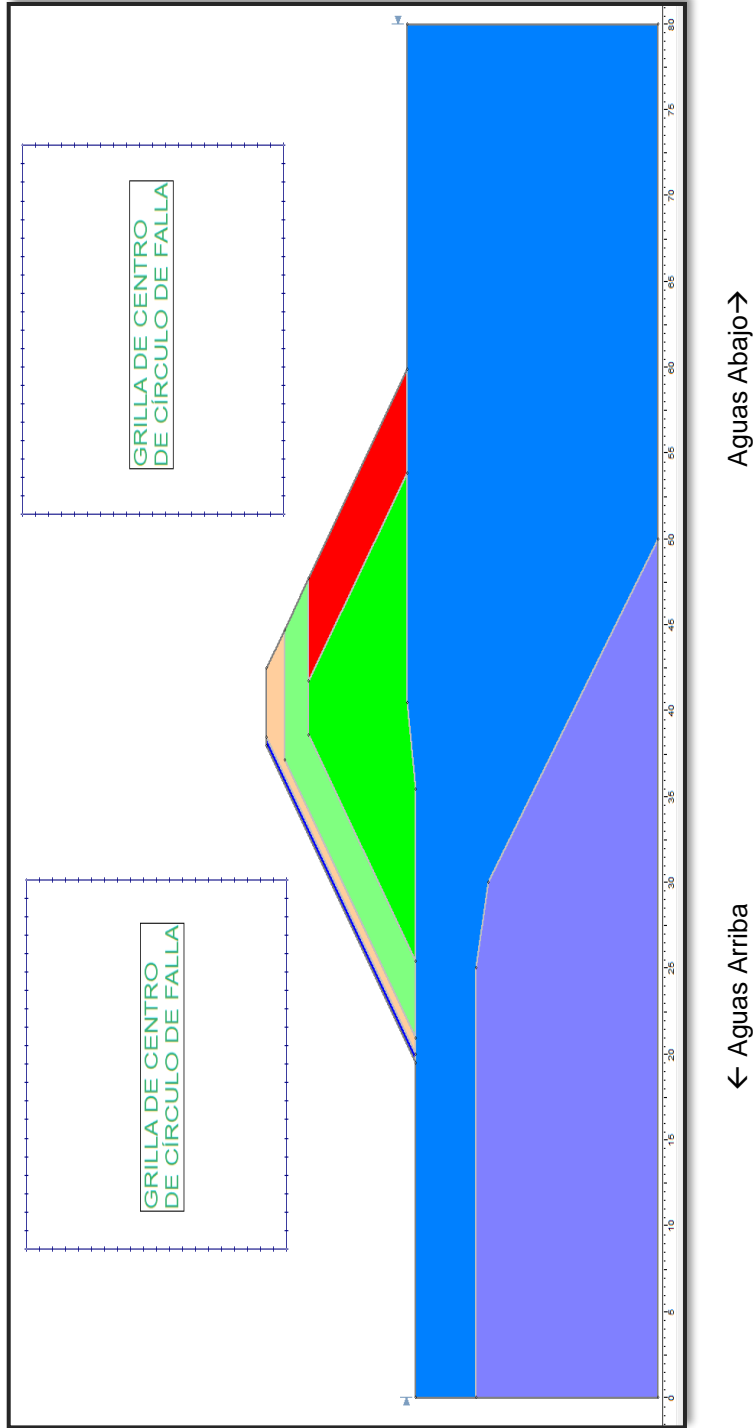


Figura 17 Esquema de análisis de evaluaciones en diferentes condiciones críticas.

En las Figuras 17 se muestra el esquema actual sobre el cual se ha procedido a la evaluación del análisis de estabilidad de taludes, tanto aguas arriba como aguas abajo.

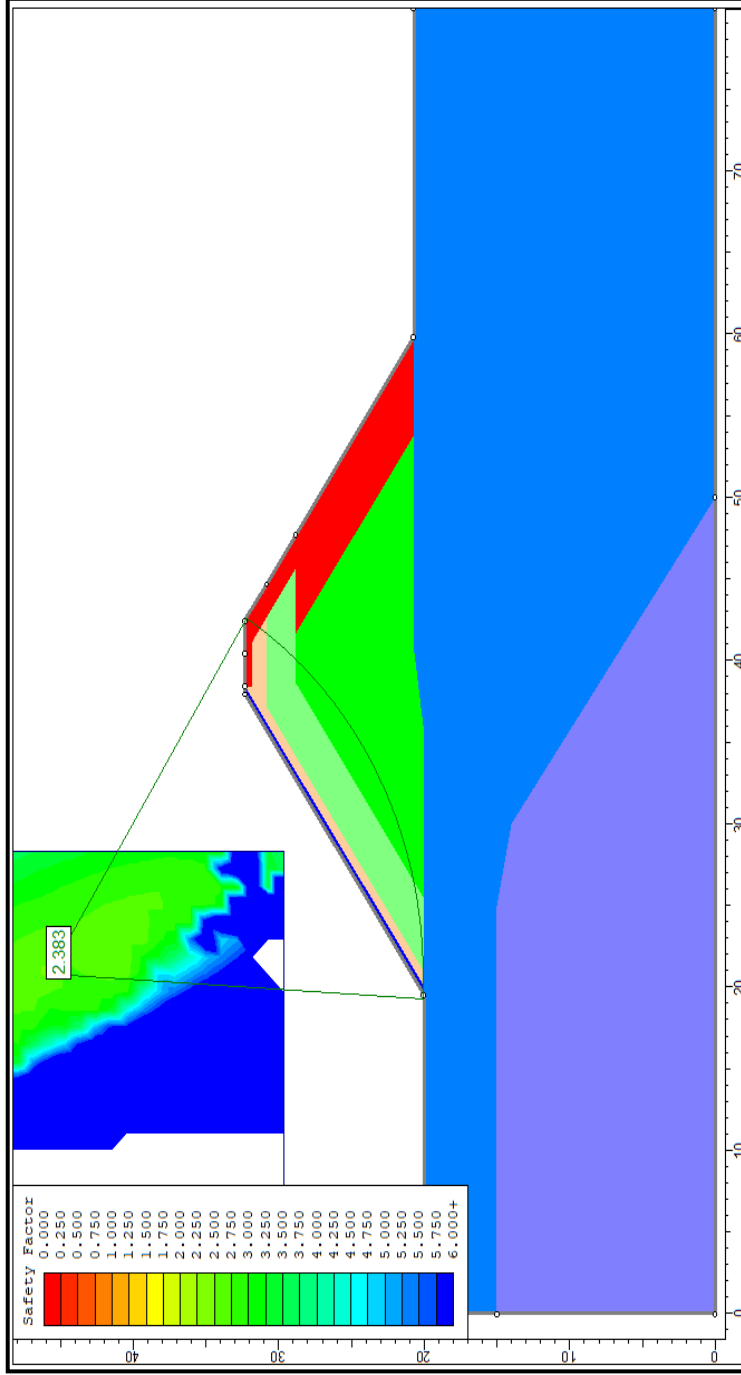


Figura 18 Análisis estático Aguas arriba

En las Figuras 18 se muestra el resultado del análisis de estabilidad del dique de la presa, con el círculo crítico aguas arriba donde la presa se encuentra vacía, se obtuvo un factor de seguridad de 2.38 las mismas que están en condiciones favorables.

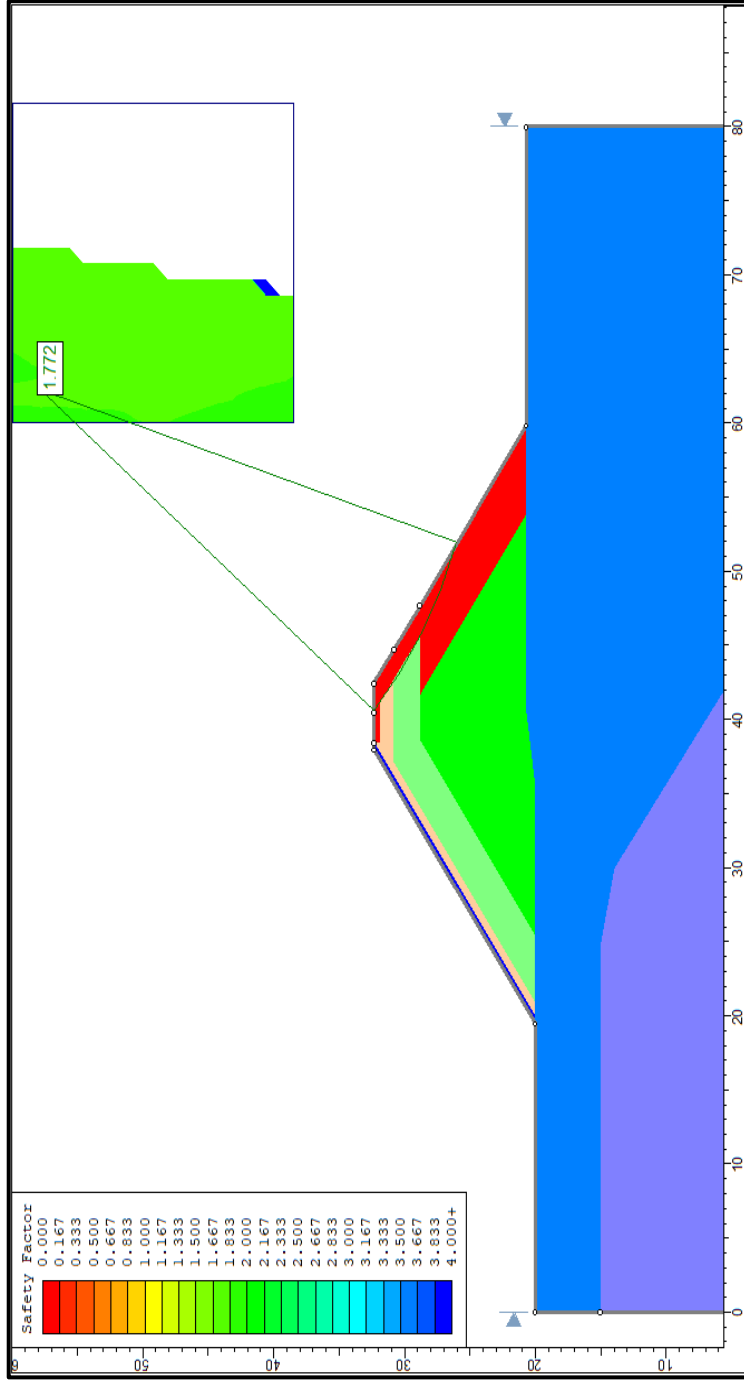


Figura 19 Análisis estático Aguas abajo

En las Figuras 19 se muestra el resultado con el software SLIDE el análisis de estabilidad del dique de la presa en la zona de color rojo., con el círculo crítico aguas abajo donde la presa se encuentra vacía, se obtuvo un factor de seguridad de 1.77 las mismas que están en condiciones favorables.

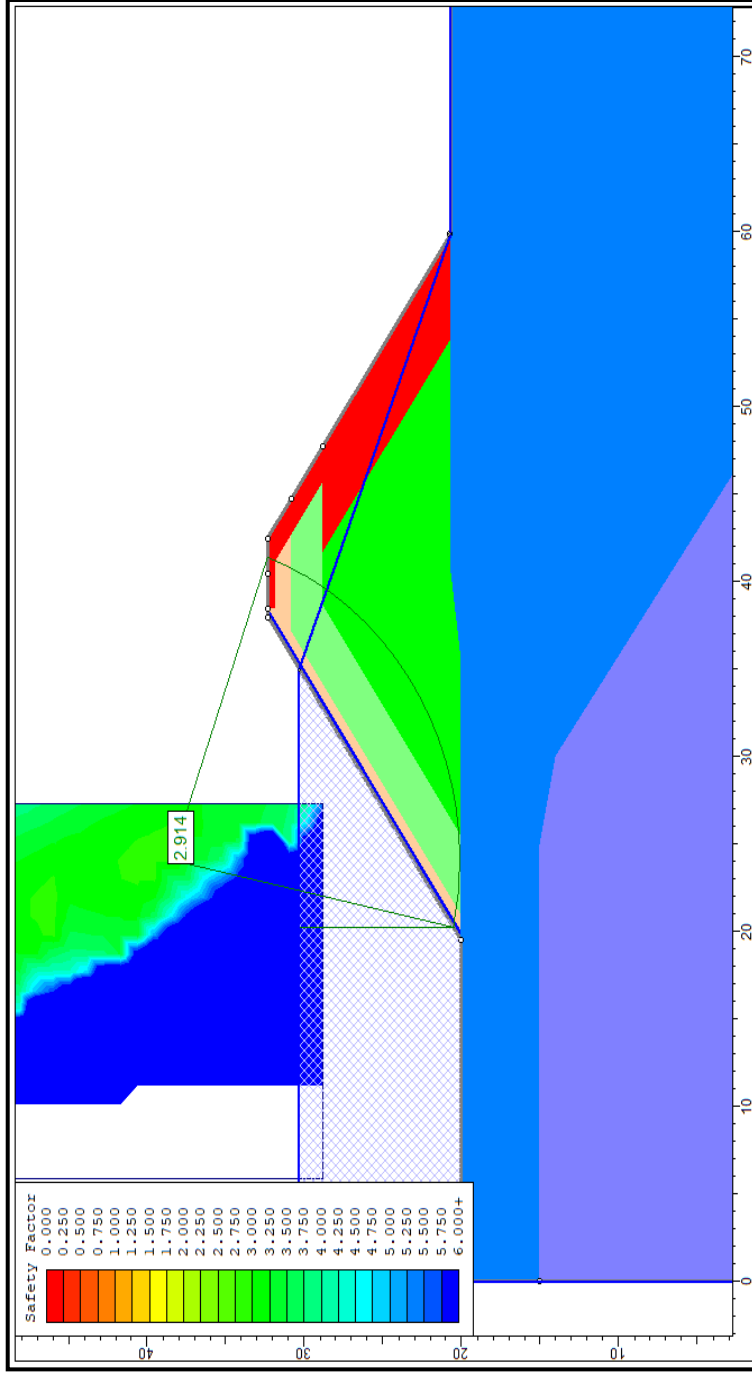


Figura 20 Análisis estático Aguas arriba

En las Figuras 20 se muestra los análisis de estabilidad de talud aguas arriba con el círculo crítico de falla de la presa con nivel friático y llenado de agua según los resultados la presa en estas condiciones es estable, teniendo un factor de seguridad de 2.9 con el software SLIDE.

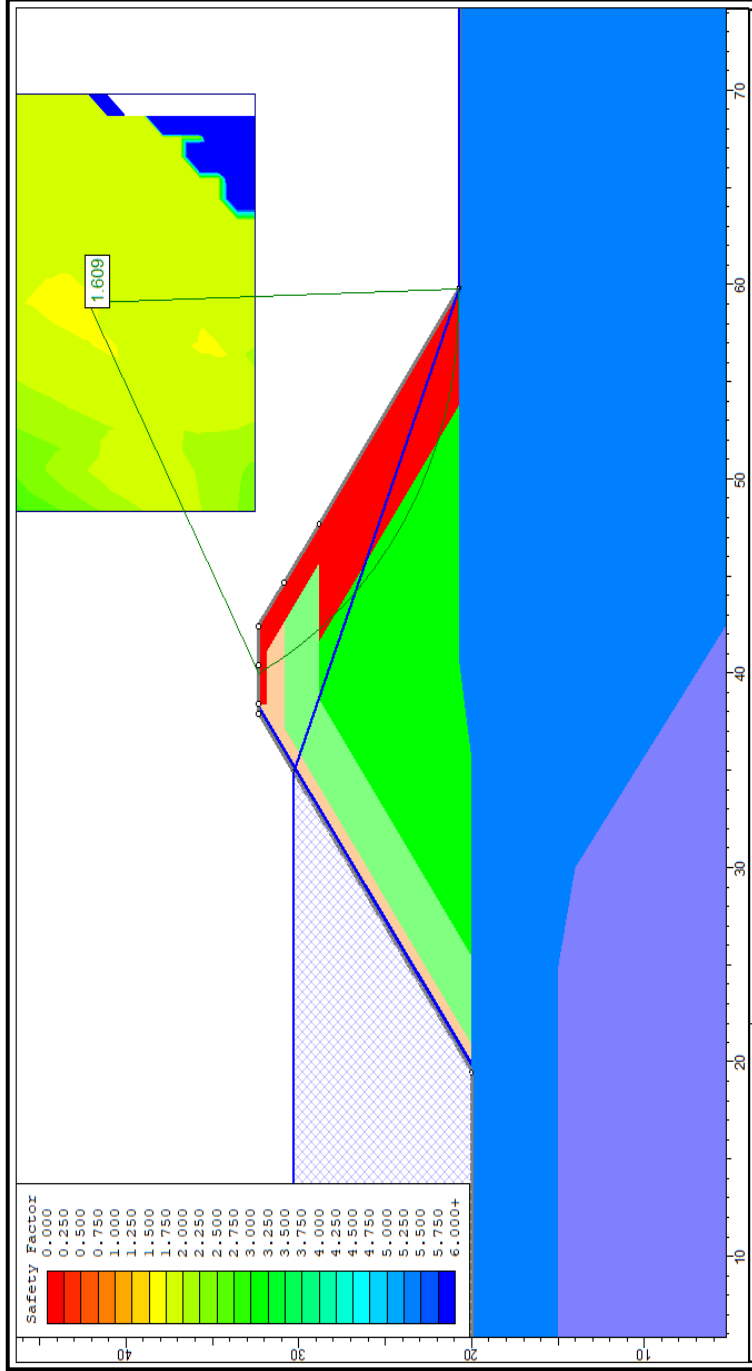


Figura 21 Análisis estático Aguas abajo

En las Figuras 21 se observa el resultado con el software SLIDE el análisis de estabilidad del dique de la presa en la zona de color rojo., con el círculo crítico aguas abajo donde la presa se encuentra llena y con el nivel friático, se obtuvo un factor de seguridad de 1.6 las mismas que están en estables.

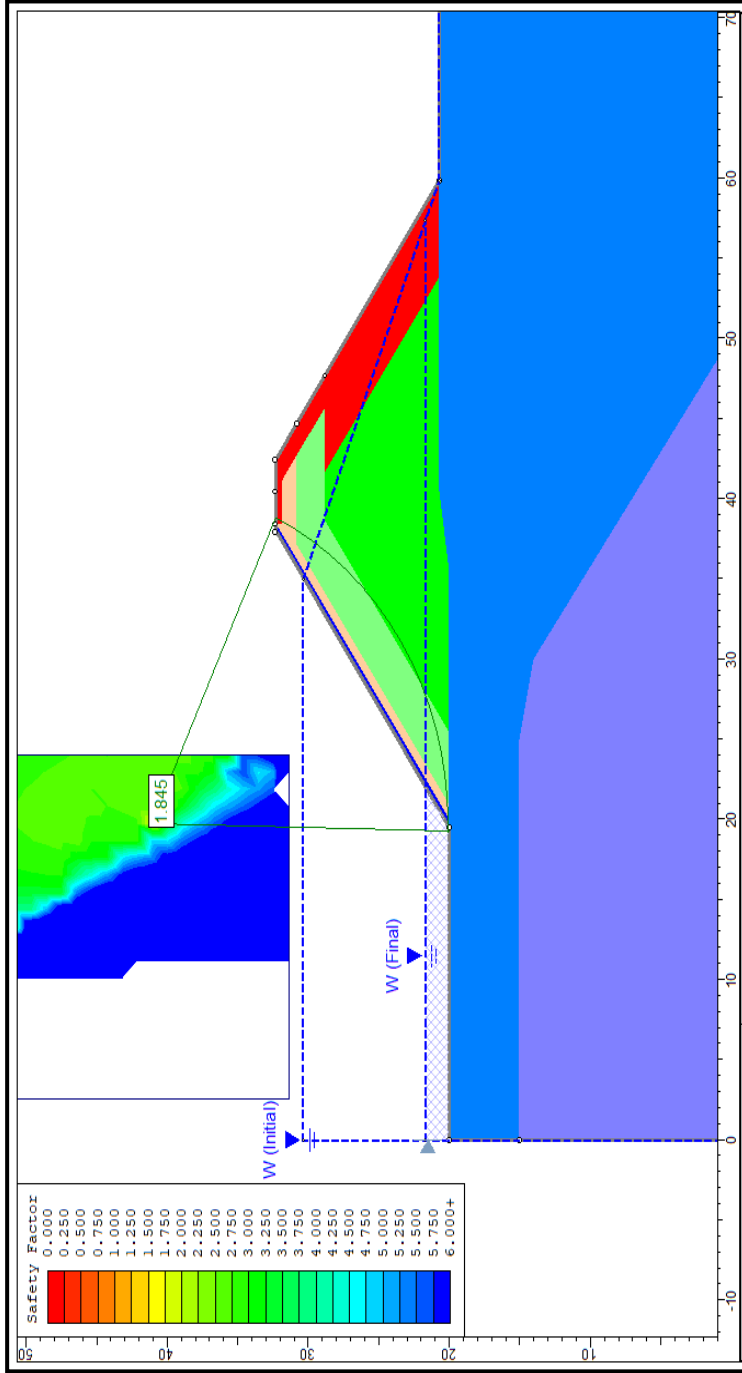


Figura 22 Análisis estático Aguas arriba

En las Figuras 22 se muestra los análisis de estabilidad de talud con el círculo crítico de falla, la presa en condiciones de vaciado rápido en la zona de aguas arriba el cual presenta condiciones favorables. Con un factor de seguridad de 1.8, donde son estables.

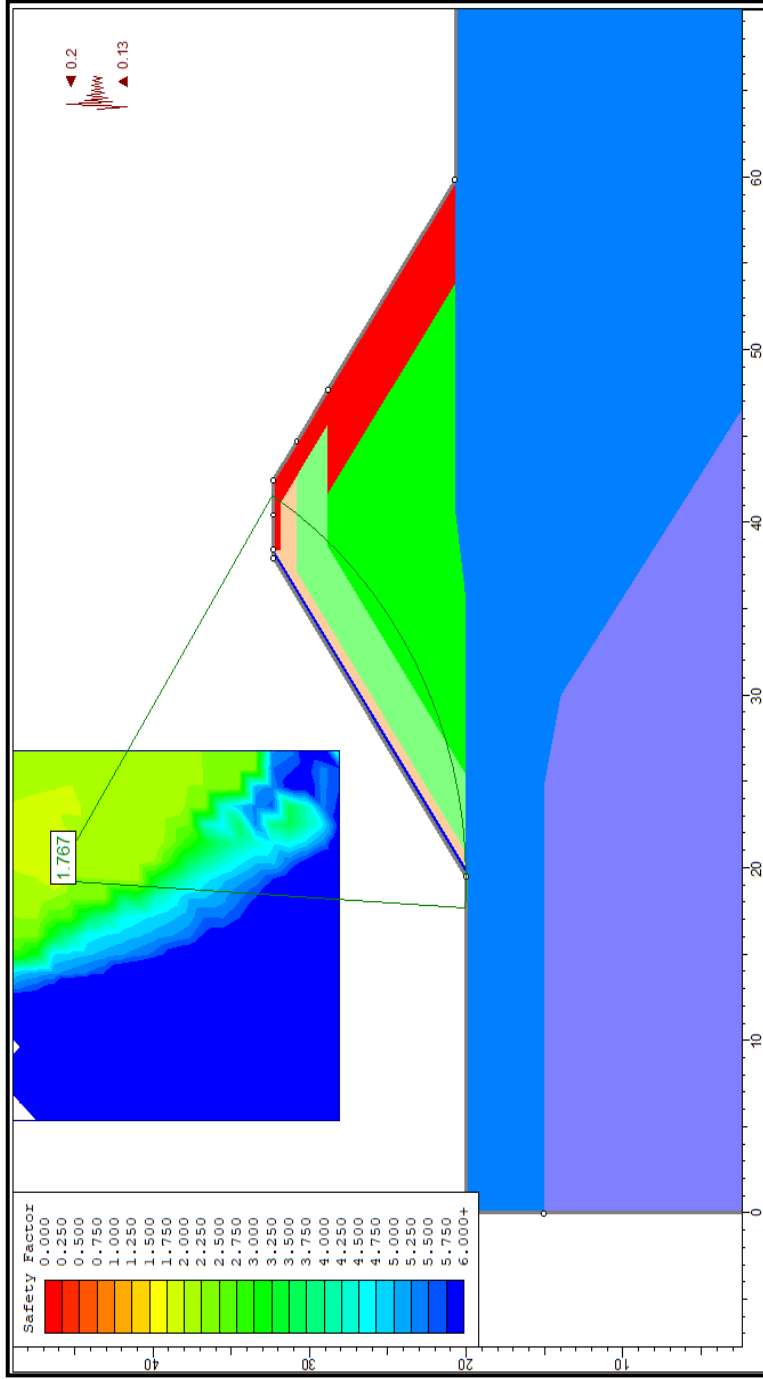


Figura 23 Análisis pseudo estático Aguas arriba

En las Figuras 23 se ilustra el análisis de estabilidad de talud aguas arriba con el círculo crítico de falla de la presa sin el nivel, según los resultados la presa en estas condiciones es estable, teniendo un factor de seguridad de 1.7 calculados con el software SLIDE.

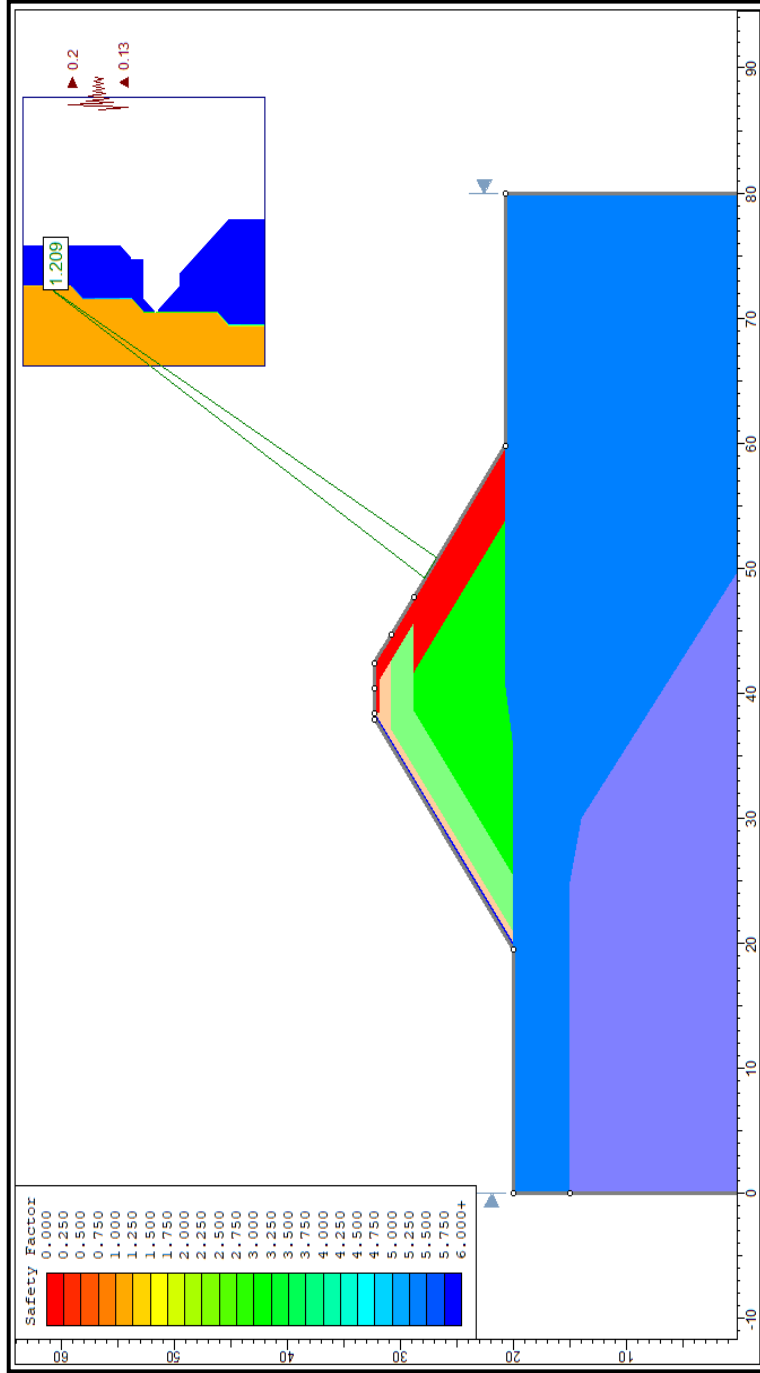


Figura 24 Análisis pseudo estático Aguas abajo

En las Figuras 24 se muestra los análisis de estabilidad de talud con el círculo crítico de falla de la presa vacía el cual se obtiene condiciones favorables en los materiales rocosos de color rojo. con resultados con el software SLIDE con un factor de seguridad de 1.2.

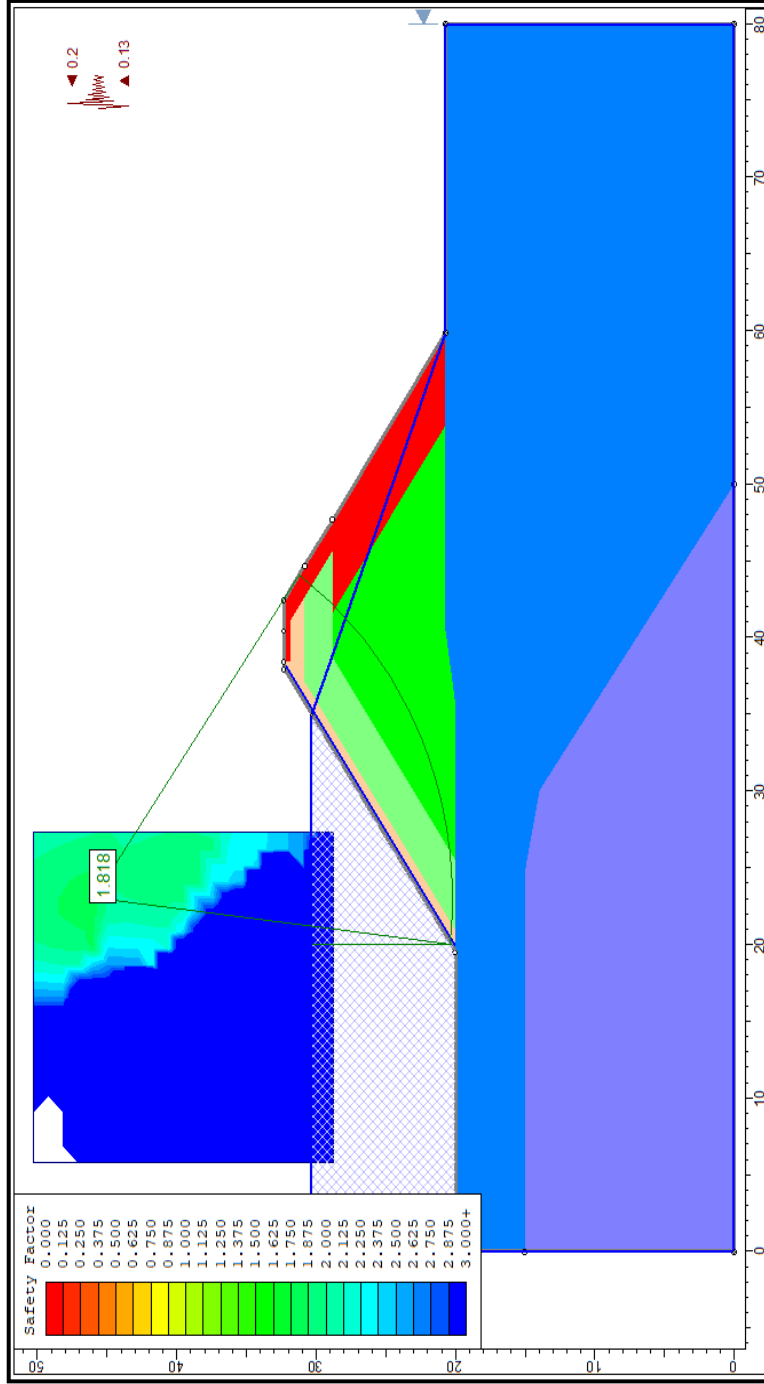


Figura 25 Análisis pseudo estático Aguas arriba

En las Figuras 25 es detalla el resultado con el software SLIDE el análisis de estabilidad del dique de la presa, con el círculo crítico aguas arriba donde la presa se encuentra llena, se obtuvo un factor de seguridad de 1.8 las mismas que están en condiciones favorables.

5.2.3.2 Resumen de análisis de estabilidad.

Considerando las diferentes condiciones de carga en el dique proyectado, se tiene los resultados del factor de seguridad de los diferentes estados de riesgo que se pueda presentar, en el siguiente se muestra el resumen de resultados.

Tabla 23 tabla 23

Resultados del Análisis de Estabilidad.

EVENTO	ESTADO	TALUD	FS _{CALCULADO}	CONDICIÓN	
				NPSP	
Sin sismo	Presa vacía	Aguas arriba	2.38	1.3	Estable
		Aguas abajo	1.77	1.3	Estable
	Presa llena	Aguas arriba	2.91	1.5	Estable
		Aguas abajo	1.61	1.5	Estable
Con sismo	Presa vacía	Aguas arriba	1.77	1.1	Estable
		Aguas abajo	1.21	1.1	Estable
	Presa llena	Aguas arriba	1.82	1.01	Estable
Desembalse rápido		Aguas arriba	1.85	1.3	Estable

De acuerdo a los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la Tabla 23, la condición de los taludes del cuerpo de la presa en todos los estados y eventos son estables. Lo cual indica una buena estabilidad al término de la construcción.

5.3 COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA ZONA DEL CIMENTACIÓN Y EJE DE LA PRESA PICHCCACCOCHA

5.3.1 Análisis de la capacidad admisible

Los materiales en el área de cimentación de la presa están constituidos por suelos de cobertura top sol y con material de grava y limos en ambos estribos que alcanzan los 1.60 estribo derecho y 1.30 en el izquierdo, seguido por arenosos y gravosos que en

profundidad son rocas, los que se evidencian también en los testigos de perforación diamantina, las rocas adyacentes expuestas están moderadamente fracturadas, cabe señalar también que actualmente existe embalse hasta el cierre de la presa.

5.3.2 Capacidad transmitida de la estructura

En el cálculo de la capacidad portante se ha considerado el análisis del sector más crítico, es decir principalmente en el eje de presa en donde esta alcanza su mayor altura con respecto a su cimentación final, en donde se considera un desplante de la cimentación de 1.00 m de profundidad en promedio, esto con corroboración del perfil geotécnico.

Ya con los cálculos realizados en la carga que transmite la represa se tiene un valor de 3.10 kg/cm².

5.3.3 Tensión efectiva transmitida a la cimentación

Para obtener la tensión admisible del terreno se realizó el muestreo de la perforación diamantina donde se extrajo en área de mayor esfuerzo, considerando que la muestra no debe tener fracturas, en la siguiente tabla se tiene el resultado de laboratorio:

Tabla 24

Resumen de Resultados a los Análisis de Capacidad Admisible.

Zona	ANALISIS EN ROCAS		
	Sondaje	Profundidad	Qadm kg/cm ²
CAUCE	DHP-03	1.40 – 1.80	17.54

Nota: laboratorio INGEOTECON.

5.4 INTERPRETACIÓN Y DISCUSIONES

5.4.1 Resultados de Estudios de mecánica de rocas de fundación.

Las propiedades físico mecánicas de las rocas se realizó el muestreo de los testigos diamantinos para realizar el ensayo de corte directo para tener la capacidad portante del suelo. en la siguiente **tabla 25** se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 25

Propiedades Físico Mecánicas de Rocas.

CODIGO	Profundidad (m)	PROPIEDADES ELASTICAS		COMPRESION UNIAXIAL		CORTE DIRECTO	
		E *10 ² Kg/cm ²	V	Kg/cm ²	Mpa	COHESION Kg/cm ²	FRICCION N (°)
DHP-01 MT-04	1.60 – 1.90			813.92	79.8	1.3	25.3
DHP-02 MT-03	1.70 – 2.00			755.12	74.03		
DHP-03 MT-01	1.40 – 1.80	172.34	0.21	486.90	47.74		
MT-02	6.80 – 7.20			596.23	58.45		
Muestra	Zona	Densidad gr/cm ³	Absorción %	Porosidad %			Roca
MT-01	Perforación diamantina	2.43	0.83	2.02			Riolita

Nota: laboratorio INGEOTECON.

Tabla 26

Resumen de Esfuerzos en la Cimentación.

Condición	Altura total de presa	Esfuerzo producido en la cimentación	Capacidad portante admisible	Análisis de capacidad portante
	m	kg/cm ²	kg/cm ²	
Presa vacía	12.10	1.45	17.54	Aceptable dentro del rango
Presa llena	12.10	1.68	17.54	Aceptable dentro del rango
Análisis manual (según estudio geotécnico)	12.10	3.10	17.54	Aceptable dentro del rango

Nota: laboratorio INGEOTECON.



Los porcentajes indicados en la Tabla 26 se encuentra por debajo de los limites habituales en presas de 0.3 a 0.7 % de la altura. Se muestra la capacidad portante del análisis de cimentación.



VI. CONCLUSIONES

- La capacidad portante calculada en rocas es de 17.50 kg/cm² a una profundidad de cimentación de 1.00 a 1.50 m, para lo cual se deberá escarificar y limpiar la cobertura del suelo. Según a los cálculos obteniendo en la determinación del RMR y las propiedades físico mecánica de las rocas las mismas que muestran resultados de 47.74 a 79.80 Mpa, según los ensayos de compresión simple uniaxial muestran datos favorables.
- La geología en el sector del cierre de la presa proyectada está cubierta por materiales cuaternarios aluvial (gravas, limos, arenas y arcillas) con potencia de 1.5m. seguido de rocas volcánicas (andesitas) en la superficie de esta capa presenta fracturamientos de 0.40cm de espesor, luego presenta masivamente roca intacta con presencia de minerales de sulfuros y micas. La geomorfología geotécnicamente presenta un adecuado cierre para el embalse y represamiento de aguas, el cual está conformado por un sistema montañoso de colinas disectadas a laderas y pie de montes formado así un conjunto de lagunas.
- Los valores de permeabilidad en rocas andesitas teniendo un RQD cercano y mayor a 70% han alcanzado el orden de 10^{-5} y 10^{-7} k, lo cual indica que está en una condición muy favorable de acuerdo a la clasificación por jolsby (lugeon) en el cual indica que no requiere de un tratamiento geotécnico para reducir la permeabilidad, es decir que la estanqueidad de la represa estaría asegurada con este tipo de materia de fundación.
- El análisis de estabilidad de las condiciones del talud del cuerpo de la presa desarrollados en el software Slide 6.0 de los círculos críticos de fallas y superficies



críticas de deslizamiento se obtiene factores de seguridad mayor a 1.5 en todos los estados y eventos, las cuales indican que son estables.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar los estudios geológicos de las áreas próximas a la zona de estudio, para determinar y/o ampliación de represamiento de las lagunas unidas y así poder aumentar la demanda hídrica.
- Se debe realizar una evaluación de movimientos del terreno para casos de que pueda ser afectado la expansión o por movimientos sísmicos, se debe optar por la instalación de anclajes que impidan que la presa disminuya sus coeficientes de seguridad.
- Al término de la construcción de la presa, se recomienda llevar a cabo controles geotécnicos para monitorear el asentamiento del terreno, estos podrían instalarse con piezómetros y controles del nivel de agua.
- El sistema de protección de medio ambiente deberá ser una tarea permanente durante todo el periodo de construcción y posterior a la obra.



VIII. REFERENCIAS

- Apaza Y. P. (2016) “Evaluación geológica y geotécnica para la ampliación, de la presa ancascocha en la cuenca de yauca, ayacucho- arequipa” Tesis UNA- Puno.
- Acosta J. (2009). “Relación del volcanismo Mío – plioceno con los depósitos epitermales de Au y Ag en la cordillera occidental del sur del Perú (Arequipa, Ayacucho – Huancavelica)”, INGEMMET por dirección de recursos minerales y energéticos.
- Alva H. J. E. (2007), “Exploración Geotécnica”, Universidad Nacional de Ingeniería; Lima - Perú. Cordova J. Y. (1999), Estudio Geológico – Geotécnico de Prospección de Materiales. Comité Internacional Española de grandes Presas. Madrid España, 286 p.
- Arce Helberg, J. (1990). La Geofísica Aplicada a la Microzonificación - Métodos de prospección Geofísica en Estudios de Ingeniería. CISMID - UNI, Lima- Perú
- ASTM D 5777 -00. (2000). Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.
- ASTM D 5777. (1995). Norma Técnica de Exploración Geofísica.
- BARTON, N., Løset, F., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.
- BARTON, N., Løset, F., Lien, R. and Lunde, J. (1980). Application of the Q-system in design decisions. In Subsurface space, (ed. M. Bergman) 2, 553-561. New York: Pergamon.



- Bieniawski, Z.T. (1976). Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
- BOWLE, J.E. (1995). “Propiedades geofísicas de los suelos” editorial Ing. Civil Bradley University
- Central board of irrigation and power, Rockfill Dams. New Delhi, India. 1992.
- CIGB – ICOLD – CNE Presas de Escollera con Pantalla de Hormigón. Estado del Arte. 1995.
- Dal-Ré T. R. (2003) “Pequeños embalses de uso agrícola” Ediciones España Mundi-Prensa; 1er edición
- Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test.Mat.
- Diaz-Anaya, E. (2010). Implementación del código Zondres2D para la modelación directa e inversa de datos de tomografía de resistividad eléctrica 2D. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Diseño sísmico de presas de tierra y enrocado. (1999). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio Geotécnico del CISMID, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco.
- Gonzales D. V. L. I. (2003) Ingeniería Geológica, Pearson Educación, Madrid España, .715 p.



- Humberto G. A. & Luis G. R. (2009) Enfoques de Diseño de Presas de Enrocado con Membrana Impermeable. Universidad Privada Boliviana.
- Instituto geológico minero y metalúrgico (INGEMMET), 1995 “Geología del Perú”. Primera Edición, Lima –Perú. Impresiones Firmat S.A. Editores e Impresores.
- Instituto geologico y minero de españa. (2006). Manual de Ingenieria 2984 taludes 2da Reimpresión. Madrid: IGME.
- MARSAL, RESÉNDIZ, Presas de Tierra y Enrocamiento. México 1975
- Martinez Vargas, A. (1990). Geotecnia para ingenieros - Principios Básicos, Lima Perú. Lima- Perú.
- Reséndiz, D., y Romo, M.P. (1972). “Analysis of embankment deformations”, Proc. ASCE Specialty Conference on Performance of earth-supported structures, June 11-14, pp. 817-836. Purdue University, Lafayette, EUA.
- RAY K.L. & Joseph B. F. (1978) Engenharia de Recursos Hídricos Editora da Universidade de Sao Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda
- RIEDEL W. (1982) Geología estructural, Sistemas de Fallas – Estructuras Tectónicas. Ediciones Omega, Barcelona 518p.
- Raúl F. B. (2016) La Geotecnia en Ingeniería de Presas de Tierra y Enrocamiento. Elaborado para la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C. Primera Edición, Mexico
- Whitlow. Roy. (1994). Fundamentos de mecánica de suelos. Cuernavaca.: Editorial continental S.A. 583p.



WEBGRAFÍA

- SENAMI. Serviscion nación de hidrografía y meteorología. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>
- GEOCATMIN (s.f.). Data geocronológica del Perú. Obtenido de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>



ANEXOS

ANEXO 01

- Certificados de ensayos de laboratorio

ANEXO 02

- Ensayos de permeabilidad
- Logueo geológico

ANEXO 03

- Plano de ubicación
- Plano Geológico Local
- Plano perfil geológico
- Plano Geológico Regional.