UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

T E S I S

Evaluación de las condiciones geotécnicas para la construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Jens Jersy VERA RAYMUNDO

Asesor:

Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

T E S I S

Evaluación de las condiciones geotécnicas para la construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Reynaldo MEJIA CACERES	**Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI**
PRESIDENTE	**MIEMBRO**

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 104-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

"Evaluación de las condiciones geotécnicas para la construcción de laCentral Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020"

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. VERA RAYMUNDO Jens Jersy

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. ARIAS ARZAPALO, Tito Marcial

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

14 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 5 de abril del 2024

Firma Digital UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN [AVANZADA]

Firmado digitalmente por MEJIACACERES Reynaldo FAU 20154605046 soft

Motivo: Soy el autor del documentoFecha: 26.04.2024 10:03:01 -05:0

DEDICATORIA

A mi madre Merly, que desde el cielo siempre estará orgullosa de verme cumplir mis objetivos. Por todo su apoyo incondicional que me brindó para concluir mis estudios y por todas sus enseñanzas que me dejó para ser una persona de bien.

A mi Papá por su apoyo que me brindo hasta concluir esta etapa universitaria y porque siempre está pendiente de mi para ver cumplir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A los docentes de mi escuela profesional de Geología por todas sus enseñanzas brindadas en las aulas y que eso me servirá para desarrollarme profesionalmente en el ámbito laboral.

A mis familiares, hermanos, abuelos tíos, tías por todo su apoyo moral que me brindaron en toda mi etapa universitaria

RESUMEN

En la investigación se determinó la factibilidad de la Evaluación de las condiciones geotécnicas del terreno para la construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020. En cuanto a la metodología, la investigación es una investigación aplicada porque se pone en práctica conocimientos previos en la solución de problemas geotécnicos, con un enfoque cuantitativa y alcance descriptivo, no experimental con diseño transversal.

La disponibilidad hídrica de agua superficial del río Chontayacu ha determinado que se trata de una zona con condiciones para aprovechar el potencial hidroeléctrico disponible, definiendo que la etapa de construcción se desarrollará en un período de 38 meses para la centralChontayacu Alto y 41 meses para la central Chontayacu Bajo. Las dos centrales Chontayacu Alto y Bajo, recibirán energía de las aguas del río Chontayacu. Ambas centrales contarán con reservorios e instalaciones, así como turbinas y subestaciones eléctricas y líneas de transmisiónasociada.

El objetivo fue evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso mediante ensayos de permeabilidad (lefranc, lugeon) y de resistencia (spt) del Proyecto Hidroeléctrico, localizado en una zona donde la geología y geotecnia son factores determinantes para el desarrollo del proyecto; dichos factores nos llevan a realizar estudios e investigaciones para poder determinar las propiedades del macizo rocoso, caracterizarlo. La metodología empleada comenzó con la revisión bibliográfica, luego el trabajo de campo, seguidamente conla etapa de laboratorio y finalmente con la etapa de gabinete.

Los resultados que se obtuvieron en campo fueron muy determinantes para el cimiento donde se ejecutara dicha construcción. En los ensayos de tipo Lefranc el resultado oscila entre K($1.10E^{-05}$ – $7.38E^{-03}$ cm/s) y para los ensayos de tipo Lugeon

entre K($1.75E^{-04}$ – $6.24E^{-06}$cm/s). En los ensayos de SPT se obtuvieron rechazo en algunos puntos por presencia de bolonerias en el terreno.

Palabras claves: Evaluación Geotécnica, ensayos, construcción, central hidroeléctrica

ABSTRACT

In the investigation, the feasibility of the Evaluation of the geotechnical conditions for the construction of the Chontayacu Alto and Bajo Hydroelectric Power Plant, 2020, was determined. Regarding the methodology, the investigation is an applied investigation because previous knowledge is put into practice in the solution. of geotechnical problems, with a quantitative approach and descriptive scope, not experimental with a cross-sectional design.

The hydric availability of surface water from the Chontayacu River has determined that it is an area with conditions to take advantage of the available hydroelectric potential, defining that the construction stage will be developed in a period of 38 months for the Chontayacu Alto plant and 41 months for the Central Chontayacu Bajo. The two Chontayacu Alto and Bajo power plants will receive energy from the waters of the Chontayacu River. Both plants will have reservoirs and facilities, as well as turbines and electrical substations and associated transmission lines.

The objective was to evaluate the geological and geotechnical conditions of the rock mass of the Hydroelectric Project, located in an area where geology and geotechnics are determining factors for the development of the project; these factors lead us to carry out studies and investigations in order to determine the properties of the rock mass, characterize it. The methodology used began with the bibliographic review, then the field work, then with the laboratory stage and finally with the cabinet stage.

The results obtained in the field were very decisive for the foundation where said construction was carried out. In Lefranc-type tests, the result oscillates between K(1.10E-05 – 7.38E-03 cm/s) and for Lugeon-type tests between K(1.75E-04 – 6.24E-06cm/s). In the SPT tests, rejection was obtained at some points due to the presence of bologna in the field.

Keywords: Geotechnical evaluation, tests, hydroelectric power plant construction

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la Evaluación de las condiciones geológicas geotécnicas para la construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo 2020,

La investigación se realizó en la cuenca del río Chontayacu, en el tramo comprendido entre las cotas 1,550 y 730 m.s.n.m. del distrito de Cholón, provincia Marañón en la Región Huánuco. Respecto a la delimitación temporal se inició en junio 2020 hasta agosto 2020. Para la delimitación teórica se basó en la teoría de una evaluación geológica y geotécnica aplicada y para la delimitación de las unidades de investigación se consideró los factores que caracterizaron a las propiedades estructurales del macizo rocoso de la zona de estudio.

La disponibilidad hídrica de agua superficial del río Chontayacu ha determinado que se trata de una zona con condiciones para aprovechar el potencial hidroeléctrico disponible, definiendo que la etapa de construcción se desarrollará en un período de 38 meses para la centralChontayacu Alto y 41 meses para la central Chontayacu Bajo.

El objetivo fue evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso del Proyecto Hidroeléctrico, localizado en una zona donde la geología y geotecnia son factores determinantes para el desarrollo del proyecto; dichos factores nos llevan a realizar estudios e investigaciones para poder determinar las propiedades del macizo rocoso, caracterizarlo. La metodología empleada comenzó con la revisión bibliográfica, luego el trabajo de campo, seguidamente con la etapa de laboratorio y finalmente con la etapa de gabinete.

En la presente tesis permite evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas en la zona de estudio, determinando las propiedades estructurales del macizo rocoso y la capacidad portante de los suelos, de esta manera contar con las condiciones de seguridad

y garantizar unavida útil aceptable.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema....1

1.2. Delimitación de la investigación....2

1.3. Formulación del problema....3

1.3.1. Problema general....3

1.3.2. Problemas específicos....3

1.4. Formulación de objetivos....3

1.4.1. Objetivo general....3

1.4.2. Objetivos específicos....3

1.5. Justificación de la investigación....4

1.6. Limitaciones de la investigación....4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio....5

2.2. Bases teóricas – científicas....7

2.2.1. Central hidroeléctrica....7

2.2.2. Macizo rocoso 7
2.2.3. Investigaciones del subsuelo 9
2.2.4. Perforaciones diamantinas con recuperación de testigo 9
2.2.5. Excavaciones superficiales (Calicatas y Trincheras) 10
2.2.6. Ensayos de permeabilidad 10
2.2.7. Clasificación geotécnica de suelos 12
2.3. Definición de términos básicos 12
2.4. Formulación de Hipótesis 15
2.4.1. Hipótesis general 15
2.4.2. Hipótesis específicas 15
2.5. Identificación de variables 15
2.5.1. Variable independiente 15
2.5.2. Variable dependiente 16
2.6. Definición operacional de variables e indicadores 16

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación 18
3.2. Nivel de investigación 18
3.3. Métodos de investigación 18
3.4. Diseño de investigación 18
3.5. Población y muestra 19
3.5.1. Población 19
3.5.2. Muestra 19
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 20

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 20

3.8. Tratamiento Estadístico 21

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo 22

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados 40

4.2.1. Mapeo geotécnico de calicatas y muestreo 40

4.2.2. Ensayos de permeabilidad en perforaciones 41

4.3. Prueba de hipótesis 116

4.3.1. Hipótesis general 116

4.3.2. Primera Hipótesis específica 117

4.3.3. Segunda Hipótesis específica 118

4.3.4. Tercera Hipótesis específica 118

4.4. Discusión de resultados 119

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición operacional de variables e indicadores ----------16

Tabla 2 Columna estratigráfica del CC. PP de San Antonio – Chontayacu bajo--------26

Tabla 3 Profundidad de perforación de cada sondaje en el proyecto Central Hidroeléctrica Chontayacu----------29

Tabla 4. Cuadro resumen de trabajos ejecutados en Perforaciones ----------31

Tabla 5. Calicatas ejecutadas para investigación geotécnica – Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto----------36

Tabla 6. Calicatas ejecutadas para investigación geotécnica – Central Hidroeléctrica Chontayacu Bajo ----------38

Tabla 7. Resumen de ensayos de permeabilidad tipo Lefranc ----------46

Tabla 8. Resumen de ensayos de permeabilidad tipo Lugeon----------48

Tabla 9. Niveles freáticos en la perforación CHCHA-DBH-02 ----------50

Tabla 10. Resultado ensayos SUCS, Pe, M.F., Material más fino que tamiz 200, Ge y Absorción del agregado ----------54

Tabla 11. Resultado ensayos de Durabilidad, Abrasión, Impurezas orgánicas y análisis químicos ----------55

Tabla 12. Resultados a las 2 semanas y a 3 meses ----------57

Tabla 13. Resultado ensayos SUCS, Pe, M.F., Material más fino que tamiz 200, Ge y Absorción del agregado ----------59

Tabla 14. Resultado ensayos de Durabilidad, Abrasión, Impurezas orgánicas y análisis químicos ----------60

Tabla 15. Resultados a las 2 semanas y a 3 meses. ----------62

Tabla 16. Relación de ensayos programados para determinación de las propiedades físicas en testigos de perforación y calicatas ----------64

Tabla 17. Resistencia a la compresión Uniaxial en muestras de perforación ----------67

Tabla 18. Propiedades Elásticas ----------68

Tabla 19. Resultado de ensayos de carga puntual----------69

Tabla 20. Resistencia a la tracción método brasilero----------70

Tabla 21. Resultado de ensayos de corte directo----------71

Tabla 22. Resultados de los ensayos Petrográficos----------73

Tabla 23. Ensayos en muestras de agua ----------76

Tabla 24. Resultado de ensayos de permeabilidad P1----------79

Tabla 25. Resultado de ensayos de permeabilidad P2----------81

Tabla 26. Resultado de ensayos de permeabilidad P3----------82

Tabla 27. Resultados de los ensayos de permeabilidad P4 ----------85

Tabla 28. Resultado de ensayos de Permeabilidad P5----------88

Tabla 29. Resultado de ensayos de Permeabilidad P7----------93

Tabla 30. Resultado de ensayos de Permeabilidad P8----------98

Tabla 31. Resultado de ensayos de Permeabilidad P9---------- 100

Tabla 32. Resultado de ensayos de Permeabilidad P10 ---------- 103

Tabla 33. Resultado de ensayos de Permeabilidad P12 ---------- 104

Tabla 34. Resultado del ensayo de permeabilidad P13---------- 106

Tabla 35. Resultado de ensayos de permeabilidad P14 ---------- 108

Tabla 36. Resultado de ensayos de permeabilidad P15 ---------- 109

Tabla 37 . Resultado de ensayos de permeabilidad P20 ---------- 111

Tabla 38. Resultado de ensayos de permeabilidad P21 ---------- 112

Tabla 39. Resultado de ensayos de permeabilidad P23 ---------- 114

Tabla 40. Resultado de ensayos de permeabilidad P24 ---------- 115

Tabla 41. Resultado de ensayos de permeabilidad P16 ---------- 116

INDICE DE FIGURAS

Imagen 1. Esquema de instalación ensayo Lefranc.....45

Imagen 2. Toma de muestras de agua en Piezómetros. 126

Imagen 3. Ejecución de ensayo de permeabilidad tipo Lugeon 126

Imagen 4. Medición de Niveles freáticos en piezómetro. 127

Imagen 5. Ejecución de ensayo de penetración estándar (SPT).....127

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La demanda energética en el mundo ha generado la construcción de una gran cantidad de embalses a nivel global, principalmente en los países en desarrollo económico que requieren de mayor generación de energía eléctrica, que sería el caso de Sudamérica y África (Hertwich, 2013). El Perú se caracteriza por poseer una diversidad de climas y microclimas, tanto por su proximidad al Océano Pacífico y la presencia de la Cordillera de los Andes, que le dan condiciones topográficas e hidrológicas para desarrollar energía eléctrica a partir del agua. El Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2015) categorizó el potencial por cada cuenca hidrográfica, siendo la mayor acumulación en la zona de la sierra central y sur, donde se concentra el mayor potencial hidroenergético. Del mismo modo el Perú es un país con mucha necesidad de energía eléctrica sobre todo en los pueblos donde la falta de este servicio trae como consecuencia que no se cuente con mejores condiciones de vida, sin los adelantos y la tecnología de este mundo globalizado.

La disponibilidad hídrica de agua superficial del río Chontayacu ha determinado que se trata de una zona con condiciones para aprovechar el potencial hidroeléctrico disponible, definiendo que la etapa de construcción se desarrollará en un período de 38 meses para la central Chontayacu Alto y 41 meses para la central Chontayacu Bajo.

Las dos centrales Chontayacu Alto y Bajo, recibirán energía de las aguas del río Chontayacu. Ambas centrales contarán con reservorios e instalaciones, así como turbinas y subestaciones eléctricas y líneas de transmisión asociada. Las especificaciones del proyecto fueron determinadas a partir de la topografía e hidrología local, sin considerar las condiciones geológicas y geotécnicas del área del proyecto, por lo que el principal problema es el tipo del material que se presenta en el emplazamiento de la obra, para lo cual se debe recurrir a la caracterización del macizo rocoso, las cuales constituyen la fase inicial de todo estudio geológico y geotécnico donde se evaluarán las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso. Es significativo señalar que el estudio permitirá evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas en la zona de estudio, determinando las propiedades estructurales del macizo rocoso y la capacidad portante de los suelos, de esta manera contar con las condiciones de seguridad y garantizar una vida útil aceptable.

1.2. Delimitación de la investigación

La investigación se realizó en la cuenca del río Chontayacu, en el tramo comprendido entre las cotas 1,550 y 730 m.s.n.m. del distrito de Cholón, provincia Marañón en la Región Huánuco. Respecto a la delimitación temporal se inició en junio 2020 hasta agosto 2020. Para la delimitación teórica se basó en la teoría de una evaluación geológica y geotécnica aplicada y para la

delimitación de las unidades de investigación se consideró los factores que caracterizaron a las propiedades estructurales del macizo rocoso de la zona de estudio.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020?

1.3.2. Problemas específicos

a) ¿Cuáles son las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante delos suelos en el área del proyecto?

b) ¿Cuál es la importancia de los perfiles lito estratigráficos en el área del proyecto?

c) ¿Cuáles son las condiciones de permeabilidad en el área del proyecto?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso, para establecer la viabilidad de los diseños y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto yBajo, 2020.

1.4.2. Objetivos específicos

a) Determinar las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante delos suelos del área de estudio.

b) Realizar los perfiles lito estratigráficos del área de estudio.

c) Determinar las condiciones de permeabilidad del área de estudio.

1.5. Justificación de la investigación

Los resultados de la investigación permitirán mostrar que, en cualquier proyecto de Central Hidroeléctrica, se debe conocer el tipo y calidad del terreno determinando las condiciones de las diferentes obras proyectadas tales como estructuras, bocatoma, desarenador, túnel de conducción, tubería forzada y casa de máquinas y; con ello se justifica la investigación porque ayudará a resolver un problema real.

1.6. Limitaciones de la investigación

Dentro de las limitaciones encontrados en el desarrollo de la investigación tenemos la escasa información debido a que gran parte de la base de datos es manejado por la supervisión. De la misma manera el estudio está limitado a la zona de estudio y finalmente el estudio no pretende profundizar en aspectos de diseño civiles, ni estudios hidrológicos e hidrogeológicos, ni estudios de mercado eléctrico. Se centrará principalmente en los aspectos geológicos y geotécnicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Mullo (2016) en su tesis denominada “Empleo de las clasificaciones geomecánicas, para la investigación del comportamiento geotécnico de las excavaciones subterráneas en la central la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 Mw”, buscó determinar el comportamiento geotécnico del macizo rocoso en base a la clasificación geomecánica del área donde se excavarán las obras subterráneas de la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. La metodología empleada comenzó con la compilación de datos geológicos de la zona, definir de las características del macizo, excavación, sostenimiento, maquinarias y equipos. El autor concluyó que luego de usar los métodos de clasificación geomecánica RMR, Q y GSI, logró definir el comportamiento del macizo rocoso (Relajamiento de roca, estallido de roca, formación de cuñas, etc), esto reforzó la identificación de las zonas con peligro de desprendimiento y a su vez decidir qué sectores necesitaban refuerzo. Se usaron anclajes puntuales, en roca tipo II, III y IV, logrando así estabilizar y garantizar la seguridad de las personas y

maquinarias en dicho sector. La presente tesis aporta lo siguiente: Procedimiento dela caracterización del macizo rocoso en el emplazamiento de la Hidroeléctrica y la obtención de propiedades físicomecánicas que servirán para el empleo de las clasificaciones geomecánicas y como estos recomiendan usar anclajes puntuales de diferentes dimensiones según el tipo de roca.

Lume (2019) en su tesis titulado "Evaluación de las condiciones geológicas y Geotécnicas de los túneles de conducción y forzado Del proyecto hidroeléctrico cerro de águila – Huancavelica". El objetivo fue evaluar de las condiciones geológicas y geotécnicas de los túneles de conducción y forzado del Proyecto Hidroeléctrico Cerro del Águila con una capacidad de generación de 513 MW, un túnel hidráulico, localizado en una zona donde la geología y geotecnia son factores determinantes para el desarrollo del proyecto; dichos factores nos llevan a realizar estudios e investigaciones para poder determinar las propiedades del macizo rocoso, caracterizarlo y así definir diferentes clases de soporte a instalar para mantener la estabilidad del túnel a largo plazo. La metodología empleada comenzó con la revisión bibliográfica, luego el trabajo de campo, seguidamente con la etapa de laboratorio y finalmente con la etapa de gabinete. El autor concluyó determinando que las características geomecánicas del Túnel de Conducción son 7.14% buena, 50.52% regular y 42.34% mala.

Cruzado (2017) realizo un estudio titulado "Evaluación geomecánica del túnel de la central Hidroeléctrica Potrero - San Marcos - Cajamarca". El objetivo fue determinar el comportamiento geomecánico del terreno a lo largo del eje de diseño. La metodología desarrollada consiste en una investigación descriptiva y correlacional. El concluye que la evaluación geomecánica de todo el tramo excavado del túnel de 107.20 metros, determina un ambiente

homogéneo ya que, desde el inicio, progresiva Km 1+266.94 hasta el final en la progresiva Km 1+437.14 la clasificación del macizo rocoso se comporta como roca regular (Tipo III) y como roca buena (Tipo II).

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Central hidroeléctrica

Es un conjunto de obras que conforman una planta de generación de energía eléctrica a partir del agua, es decir que aprovechan la energía potencial del agua proveniente de los ríos, lagos y lagunas para convertirla primeramente en energía mecánica y luego en eléctrica. Consta de un sistema de captación de agua, conformado por un conjunto de obras civiles y dispositivos electromecánicos, que derivan hacia una conducción, o provocan un desnivel que produce energía potencial la cual será aprovechada. La energía potencial se trasforma en energía mecánica mediante el paso de agua por la(s) turbina(s), elemento fundamental de esta instalación, la cual desarrolla un movimiento giratorio que acciona un alternador y produce la corriente eléctrica deseada, que luego se transportará a los centros de consumo mediante líneas de transmisión eléctrica.

2.2.2. Macizo rocoso

La geología también estudia al macizo rocoso y sus propiedades físico-mecánicas que se aplican en obras de ingeniería; así como túneles, galerías subterráneas, casas de máquinas, cimentaciones, etc. Mediante investigaciones superficiales y evaluaciones a partir de perforaciones diamantinas. La matriz rocosa es el material exento de discontinuidades o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas, la matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo, ligado a su fábrica y a su

microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (Gonzáles de Vallejo, 2003). Una discontinuidad es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidadeses muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o en su caso, por el material de relleno (Deere, 1964). Las discontinuidades y los bloques de matriz constituyen en conjunto la estructura rocosa y gobiernan el comportamiento global del macizo rocoso, predominando uno u otro componente en función de sus propiedades relativas y de la escala. Algunas propiedades adicionales, que se tienen que tener en cuenta en la evaluación de un macizo rocoso son:

a) **Anisotropía.** La presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, foliación, familias de diaclasas tectónicas) implica diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional del macizo.

b) **Discontinuidad.** La presencia de discontinuidades (superficie de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad.

c) **Heterogeneidad.** Son las zonas con diferente litología, grado de alteración o

meteorización, contenido en agua, etc. Pueden presentar propiedades muy diferentes.

Además de las propiedades intrínsecas del macizo rocoso asociadas a las característicasde la matriz rocosa y de las discontinuidades, que definen en gran parte a su comportamiento. El macizo rocoso es la unidad básica de la corteza terrestre, está formado por un conjunto de minerales petrogénicos en determinadas condiciones de presión y temperatura, entre otras condiciones fisicoquímicas en el enlace de los iones mineralizantes y procesos de consolidación. Las rocas que constituyen la corteza terrestre se clasifican en; ígneas, sedimentarias y metamórficas (Gonzáles de Vallejo, 2003).

2.2.3. Investigaciones del subsuelo

Las investigaciones, tanto por métodos directos o indirectas, aplicados a la evaluación geológica-geotécnica han avanzado mucho. En los siguientes acápites se describirán de maneraresumida, los que se aplicaron en el desarrollo del proyecto.

2.2.4. Perforaciones diamantinas con recuperación de testigo

Los sistemas de perforación con recuperación de testigo wireline se utilizan en sondeos semiprofundos a muy profundos, y ofrecen la máxima eficiencia para la extracción de testigosen masas rocosas sin necesidad de retirar el tren de varillaje completo. La muestra de roca se toma del fondo del barreno en el conjunto del tubo interior mediante un dispositivo de pesca y un cable wireline. Se aplicó las normas establecidas en la ASTM D-2113-99 “Practice for Diamond core Drilling for site investigation” para perforaciones con sistema Wire Line y las normas de la D.C.D.M.A. Diamond Core Drill Manufacture Association.

2.2.5. Excavaciones superficiales (Calicatas y Trincheras)

Las calicatas y trincheras son un método rápido y de bajo costo para la exploración de los suelos superficiales en el área del proyecto, las profundidades dependerán directamente del tipo de suelo en el que esta se efectúe, y dependiendo además de las normativas que cada compañía pueda tener con respecto a las excavaciones manuales dentro de sus instalaciones. Esconveniente usar las calicatas para cubrir grandes áreas y confirmar resultados de los estudios de las fotografías aéreas y ampliar el mapeo de los cortes del camino y de los bancos de los ríos. Es el método adecuado para investigar las fundaciones superficiales, profundidad de cortey para encontrar material de préstamo para la construcción.

2.2.6. Ensayos de permeabilidad

Una de las características de importancia para el estudio es conocer la permeabilidad de cada una de las unidades litológicas que fueron cortadas por los sondajes ejecutados. En los macizos rocosos la permeabilidad es genéticamente secundaria y está determinada por la fisuración y fracturamiento del mismo, consecuentemente es necesario determinar el comportamiento del agua dentro de los sondajes abiertos mediante ensayos de permeabilidad Lugeon, a distintas profundidades del sondeo. En los tramos de cobertura (suelos) la permeabilidad fue calculada en base a los ensayos Lefranc, los que nos permitieron conocer elcoeficiente de permeabilidad de manera puntual y referencial para cada unidad atravesada

2.2.6.1 Ensayo de permeabilidad Lefranc.

El procedimiento utilizado para la prueba de permeabilidad con carga variable (Hvorslev, 1951), consiste en realizar perforaciones a una

profundidad designada, llenar los pozos de perforación con agua limpia, y monitorear la velocidad a la que desciende el agua en el pozo de perforación. Si el tramo de prueba está por encima del nivel freático, se deberá añadir una cantidad suficiente de agua a la perforación parasaturar el suelo/roca cercana antes de realizar la prueba.

2.2.6.2. Ensayo de permeabilidad Lugeon.

La prueba considera el valor aproximado de la conductividad hidráulica de la roca en un tramo aislado dentro de una perforación y puede ser utilizado en áreas tanto por encima como por debajo del nivel de agua subterránea. Para este procedimiento, se inyecta agua al tramo aislado de un pozo de perforación. Se establece el volumen de agua inyectado en un periodo de tiempo conocido. La presión de inyección es unacarga constante con o sin la adición de presión proporcionada por una bomba. La conductividadhidráulica se calcula a partir de la velocidad del flujo, la longitud del espacio de prueba, el radiodel espacio de la prueba, y el esfuerzo efectivo dentro del terreno de recubrimiento.

2.2.6.3. Ensayos de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de penetración standard (SPT) es un ensayo de campo, se mide la resistencia a la penetración del terreno mediante la hinca dinámica de un sacamuestras que tiene una forma normalizada. El sacamuestras se hinca 45 cm en el fondo de una perforación mediante golpes con el martillete de 63.5 kg que cae desde 76 cm de altura, Aunque se recupera una muestra, este no es el objetivo principal del ensayo.

2.2.7. Clasificación geotécnica de suelos

El suelo se puede definir como una masa de partículas que forman un esqueleto estructural. Los suelos normalmente son materiales que se pueden encontrar como sedimentos marinos y continentales, o como productos de alteración hidrotermal o superficial. También se presentan como rellenos de discontinuidades estructurales de las rocas duras. En el campo geotécnico existe un interés especial por el estudio de las propiedades y comportamiento mecánico de los suelos en todos sus aspectos, ya que además de su abundancia en las zonas donde se desarrolla la actividad humana, la gran mayoría de los problemas en ingeniería se asocian a este tipo de materiales. (Suelos expansivos, asientos, suelos compresivos, deslizamientos, baja resistencia, etc). Los suelos naturales, constituyen un sistema trifásico formado por partículas sólidas y huecos que a su vez pueden estar o no rellenos total o parcialmente de agua o aire (gas o vapor de agua). En el primer de los casos estaremos hablandode suelos saturados y de suelos semisaturados en el segundo.

De todo lo anteriormente descrito se deduce que el contenido de agua de un suelo y su facilidad para eliminarla incidirán directamente en la compactación y en la permeabilidad que nos proporcionan la resistencia y estabilidad del suelo.

2.3. Definición de términos básicos

Calicatas

Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, firmes de carreteras, etc.,para determinar los materiales empleados.

Macizo rocoso

Es un medio heterogéneo y discontinuo, cuyas propiedades mecánicas y resistentes no pueden ser medidas en laboratorio, y deben de obtenerse in-situ. (Hormazabal, 2018).

Mapeo geomecánico

El mapeo geomecánico consiste en la recolección de la data del macizo rocoso in situ, la descripción gráfica de las condiciones in situ del macizo rocoso consideran las diaclasas, las condiciones del ambiente y la clasificación del tipo de macizo rocoso, haciendo uso de las herramientas geomecánicas: picota de geólogo, martillo Schmidt, brújula y juego de colores. (Mendieta Britto, 2014).

Matriz rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. (Gonzales de Vallejo, 2002).

Las superficies de discontinuidad aparecen durante la formación de la roca (planos de estratificación, laminación, foliación, disyunción, etc.) o posteriormente por causas tectónicas (esquistosidad, pizarrosidad y las fracturas: fallas y las diaclasas), estas últimas denominadas vulgarmente "juntas". (Jorda, 2013).

Ensayos de laboratorio

Son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico. Estos ensayos se ejecutan sobre las muestras

previamente obtenidas en el terreno y, dependiendo del tipo de ensayo, se exigen distintas calidades de muestra.

Ensayos lenfranc

Prueba de permeabilidad para suelos.

Geotecnia

Ciencia que estudia los procesos geodinámicos externos y las aplicaciones de los métodos ingenieriles para su control, con el objetivo de que los efectos destructivos de estos procesos sean mínimos

Mecánica de rocas

Es la disciplina que se ocupa del estudio teórico y práctico del comportamiento mecánico de las rocas y de los macizos rocosos y de sus propiedades geomecánicas.

Muestra

Material de suelo ó roca tomada con propósito de estudio en un laboratorio de mecánicade suelos.

Perforación diamantina

Es aquella perforación que se hace utilizando una broca diamantada para perforar la roca obteniendo un testigo de la misma, el cual es extraído, registrado y colocado en cajas porta-testigos para debida protección y almacenamiento dentro del almacén de testigos.

Permeabilidad de un suelo

Es la capacidad del mismo para permitir el flujo de un fluido, líquido o gas, a través suyo. En el campo de la Geotecnia se estudia el flujo de agua.

Propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas de los materiales son las que describen el estado que guarda laspartículas componentes del suelo, que definen su apariencia. Las mecánicas son las quedescriben el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso en el área de estudio, son favorables para el diseño y construcción la de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo,2020.

2.4.2. Hipótesis específicas

a) Las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante de los suelos son favorables para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica ChontayacuAlto y Bajo, 2020.

b) La caracterización de los perfiles lito estratigráficos ayudan al diseño y construcción dela Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020.

c) Las condiciones de permeabilidad del área de estudio son favorables para el diseño yconstrucción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020.

2.5. Identificación de variables

Se identificó las siguientes variables:

2.5.1. Variable independiente

Condiciones geológicas y geotécnicas.

2.5.2. Variable dependiente

Parámetros geotécnicos de los macizos rocosos y suelos para el diseño y construcción de la central hidroeléctrica.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1

Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Condiciones Geológicas y geotécnicas	Son las características del suelo y roca identificándolos y clasificándolos, cuyo resultado facilita una información necesaria sobre el terreno en el que se pretende iniciar una construcción. La parte geomorfológica es importante	Las condiciones del suelo o roca basados en parámetros obtenidos de ensayos de campo y laboratorio. Estudio geomorfológico de la zona.	Características del suelo y roca. Descripción geomorfológica	• Tipo de suelo • Tipo de roca. • Forma del relieve • Cinemática de falla • Edad de la roca • Angulo de inclinación • Profundidad

Parámetros geotécnicos de los macizos rocosos y suelos para el diseño y construcción de la central hidroeléctrica.	Son elementos importantes que se debe considerar para determinar la resistencia y permeabilidad del terreno en el cual se va a construir.	Actividad que se realiza utilizando máquinas, equipos y accesorios para el estudio geotécnico que sirve para la construcción de la central hidroeléctrica.	Perforación diamantina.	• Coeficiente de permeabilidad • Nivel freático.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo al problema planteado, es una investigación descriptiva y explorativa aplicada a problemas de reconocimiento geotécnico que se encuentra vinculada con la investigación geotécnica básica.

3.2. Nivel de investigación

Es de nivel descriptivo porque describe fenómenos en una circunstancia temporal y geográfica delimitada según (Carrasco, 2016).

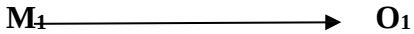
3.3. Métodos de investigación

En la investigación se aplicó los métodos descriptivo, analítico y aplicativo.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación que se utilizó en la investigación será el Descriptivo - Comparativo, ya que mediante del análisis geotécnico de muestras y adquiriendo estas características, se dedujo los parámetros geotécnicos que se

emplearon en el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica. Estableciéndose el siguiente diseño**:**



donde:

M_1= número muestras tomadas

O_1= información obtenida de parámetros geotécnicos

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población comprende el área total del proyecto que abarca desde Chontayacu Alto hasta Chontayacu bajo entre los caseríos de Santa Rosa de Oso y Cocalito.

3.5.2. Muestra

La muestra representa parte de los datos geológicos y geotécnicos obtenidas de la zona del proyecto que incluye perforaciones diamantinas, ensayos geotécnicos in situ y laboratorio que se detallan a continuación: Los trabajos de prospección consistirán en la ejecución de perforaciones geotécnicas diamantinas (18 perforaciones), 35 calicatas en ambas zonas Chontayacu Alto y Chontayacu Bajo. Por otro lado, el programa de investigaciones con calicatas se verificó la clasificación, calidad y características de los agregados para concreto, se consideró 17 calicatas en área Chontayacu alto, 18 calicatas en zona de Chontayacu Bajo tantopara la zona de presa y casa de máquinas en ambas zonas 135 pruebas hidráulicas de permeabilidad Tipo Lefranc y 20 pruebas tipo Lugeon. 35 calicatas de 3.0 m de profundidad en diversas áreas del proyecto y ensayos de laboratorio en rocas y suelos. En la toma de muestra de las trincheras y calicatas se empleó el método no probabilístico.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las investigaciones geotécnicas en el proyecto de la Central Hidroeléctrica fueronrealizadas mediante, perforaciones diamantinas.

Técnicas:

- Observación
- Técnica de sondeos y penetraciones.
- Técnica de testificación.
- Técnica de muestreo.
- Ensayos.

Instrumentos:

- Guía de observación
- Registro de exploración
- Formato de muestreo

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para las Investigaciones Geotécnicas de la Central Hidroeléctrica Chontayacu, seempleó el siguiente procedimiento:

a. Programación de trabajos

Previamente a las actividades de campo, se programó los estudios de campo, consistentes en preparación de caminos de acceso, plataformas, exploraciones mediante perforaciones diamantinas, excavaciones superficiales.

b. Etapa de campo

Durante la etapa de campo se implementó los programas de trabajo, los resultados de las diferentes investigaciones se muestran en los respectivos ensayos.

c. Ensayos de laboratorio

Posteriormente a los trabajos de campo, se efectuó la recolección de muestras representativas para realizar los ensayos físico-mecánicos de materiales para agregados, rocas y agua para construcción.

d. Trabajos de gabinete

Consistirá en la integración y correlación de los resultados de investigaciones geognósticas; los resultados se representaron en cuadros y resúmenes, constituyendo el sustentodel proyecto.

3.8. Tratamiento Estadístico

El tratamiento estadístico permitirá identificar patrones, tendencias y anomalías en los datos recogidos, así como estimar las propiedades del suelo y otros materiales con mayor certeza. Para una evaluación completa, se recopiló datos de varias fuentes, como sondeos, ensayos de penetración estándar (SPT), ensayos de laboratorio (compresión, tracción, etc.)

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Geología del área de estudio

Aspectos geológicos en áreas investigadas

La determinación de las condiciones del subsuelo de las áreas donde se implantarán las estructuras de la central hidroeléctrica, se basará en las condiciones encontradas durante las investigaciones geológicas mediante las perforaciones geotécnicas y la ejecución de ensayos de permeabilidad las cuales han sido realizadas como parte de las investigaciones de campo para el presente estudio.

Geomorfología

Geomorfológicamente, el área del Proyecto se localiza en el valle del rio Chontayacu, quebrada típica formada por la acción Aluvial con influencia tectónica. Esta unidad presenta relieves muy accidentados, los cuales han sido labrados por el rio Chontayacu, habiendo conformado la cuenca.La parte superior de la misma, es el dominio de una morfología muy variada, tipo glaciar. El fondo

de las quebradas, tiene un ancho variado, con laderas muy abruptas cubiertas por vegetación, formando valles en forma de “U”, característico del modelado Aluvial, conformando así terrazas aluviales. El modelado de la topografía es típico Aluvial, el drenaje del área es relativamente alto, lo que permite un flujo casi continuo hacia el valle.

La morfología del macizo rocoso donde se ubicarán las obras de generación de la CH Chontayacu Alto y Bajo, muestra un relieve abrupto de pendientes considerables, entre 45-60º, cubiertas por vegetación generalmente por la zona de Chontayacu Bajo, los afloramientos de las rocas se observan mejor en la zona de Chontayacu Alto, resaltando en mayor extensión áreas de vegetación. El macizo rocoso presenta regular grado de intemperización. Sin embargo, los taludes en la carretera se muestran inestables por el mismo ambiente de depositación. Generalmente en épocas de invierno es donde ocurren los deslizamientos a lo largo de toda la quebrada.

En el fondo del valle Chontayacu, el río discurre por un cauce ancho y con pendientes moderados,las terrazas están conformadas por arenas, bolonerías y gravas subredondeadas con clastos de esquistos, gneis, granodiorita y cuarcita con matriz arcillosa que fueron depositados durante la acción geológica del aluvial. El contacto de los depósitos cuaternarios con la roca basamento es variable en cada zona, se infiere entre 15m a 25m de profundidad. En gran parte del recorrido del rio aguas debajo de la zona de captación, hacia las orillas se observan rocas como cantos rodados, gravas con relleno arenoso que fueron arrastrados durante la acción geológica del rio.

Geología Local

Complejo del Marañón

En la Zona de presa ubicada en Chontayacu Alto se observa una secuencia de rocas afectadas por una tectónica polifásica y un metamorfismo regional conforman el basamento y han sido denominadas Complejo del Marañón. La identificación del Complejo del Marañón está formada por gneis y micaesquistos. Consiste principalmente de rocas metamórficas de origen sedimentario y rocas volcánicas que muestran un grado moderado de metamorfismo, estas últimas ocurren probablemente como mantos interestratificados. Comprende esquisto, esquisto de sericita clorita, esquisto de cuarzo muscovita, esquisto de cuarzo feldespato y muscovita, cuarcita de sericita, cuarcita y filita de cuarzo muscovita.

En los afloramientos en el tramo San Pedro de Chonta - Sta. Rosa de Oso, los flancos bajos del río Chontayacu están constituidos de esquistos micáceos, filitas seritosas, filitas pizarrosas. Se presentan esquistosidades en las filitas y en las filitas bituminosas. Hacia las partes altas de los cerros se observan afloramientos de esquistos de color gris verdoso con una esquistosidad poco conspicua.

Plutón Cocalito – San Antonio

Durante el Carbonífero superior e inferior del Grupo Ambo de la Formación Goyllar, fue emplazado el Plutón instruyendo al complejo marañón y dando lugar a formaciones de rocas como la granodiorita con variaciones a tonalita, su tonalidad es Leucocrata a mesócrata, de grano fino a medio, holocristalina, fanerítica, donde se observan cristales de plagioclasa y cuarzo

cuyos tamaños llegan hasta 5mm de longitud, en las tonalitas se aprecian plagioclasasy horblendas.

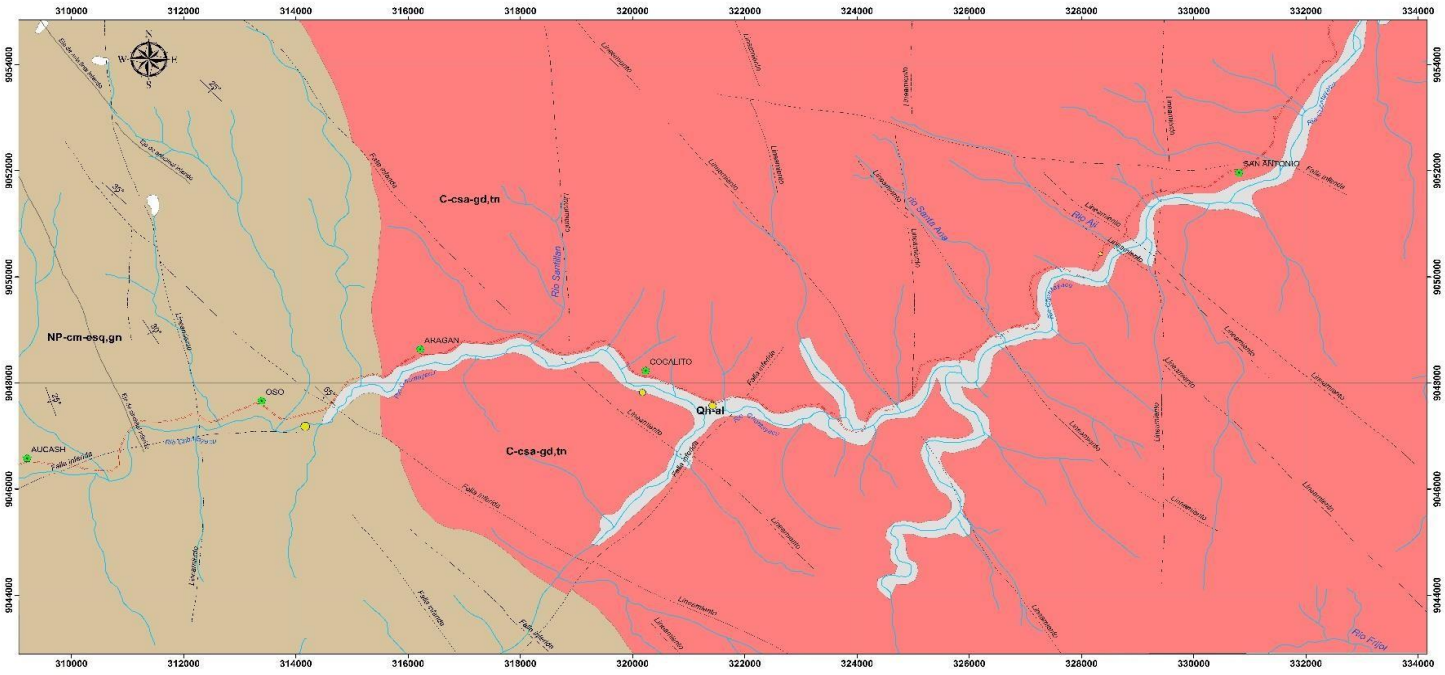
Este Plutón ha sido intrusionado por cuerpos pequeños de composición félsica como pórfido adamelítico y granodiorítico, constituido por rocas de tonalidades leucócrata, de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas, ortosa, cuarzo y ferromagnesiano (biotita).

Las rocas que muestran un grado considerable de metamorfismo, se ubican en la zona de contacto del Complejo del Marañón con el Plutón Cocalito-San Antonio. Litológicamente está constituido de gneises tonalítico, granítico y granodiorítico, de textura granoblástica y profidoblástica, estructura masiva algo foliada, donde se observan granoblastos de feldespatos (ortoclasas y plagioclasas), cuarzos alargados, en una matriz microgranular donde se aprecian cristales de ferromagnesianos alterados. Estas rocas metaintrusivas presentan la asociación mineralógica siguiente:

- cuarzo-muscovita-biotita
- cuarzo-plagioclasas-muscovita-biotita
- cuarzo-plagioclasas-ortoclasa-muscovita-biotita

Estos afloramientos se pueden ver en la zona de Presa de Chontayacu Bajo, Casa de Máquinas de Chontayacu Bajo y Casa de Máquinas de Chontayacu Alto. En general, la foliación gnéisica y la esquistosidad siguen un rumbo general predominante de N45°-60°W

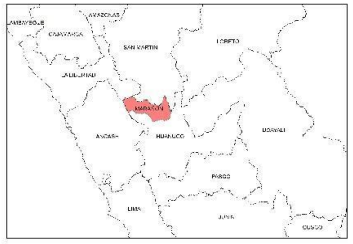
PLANO GEOLOGICO - CENTRAL HIDROELECTRICA CHONTAYACU ALTO Y BAJO



1:35,000

Litología
Formacion
- Qh-al
- C-csa-gd,tn
- NP-cm-esq,gn

LEYENDA
- Drenaje
- Carretera
- Pliegue
- Buzamiento
- Falla
- Centro Poblado
- Perforacioness



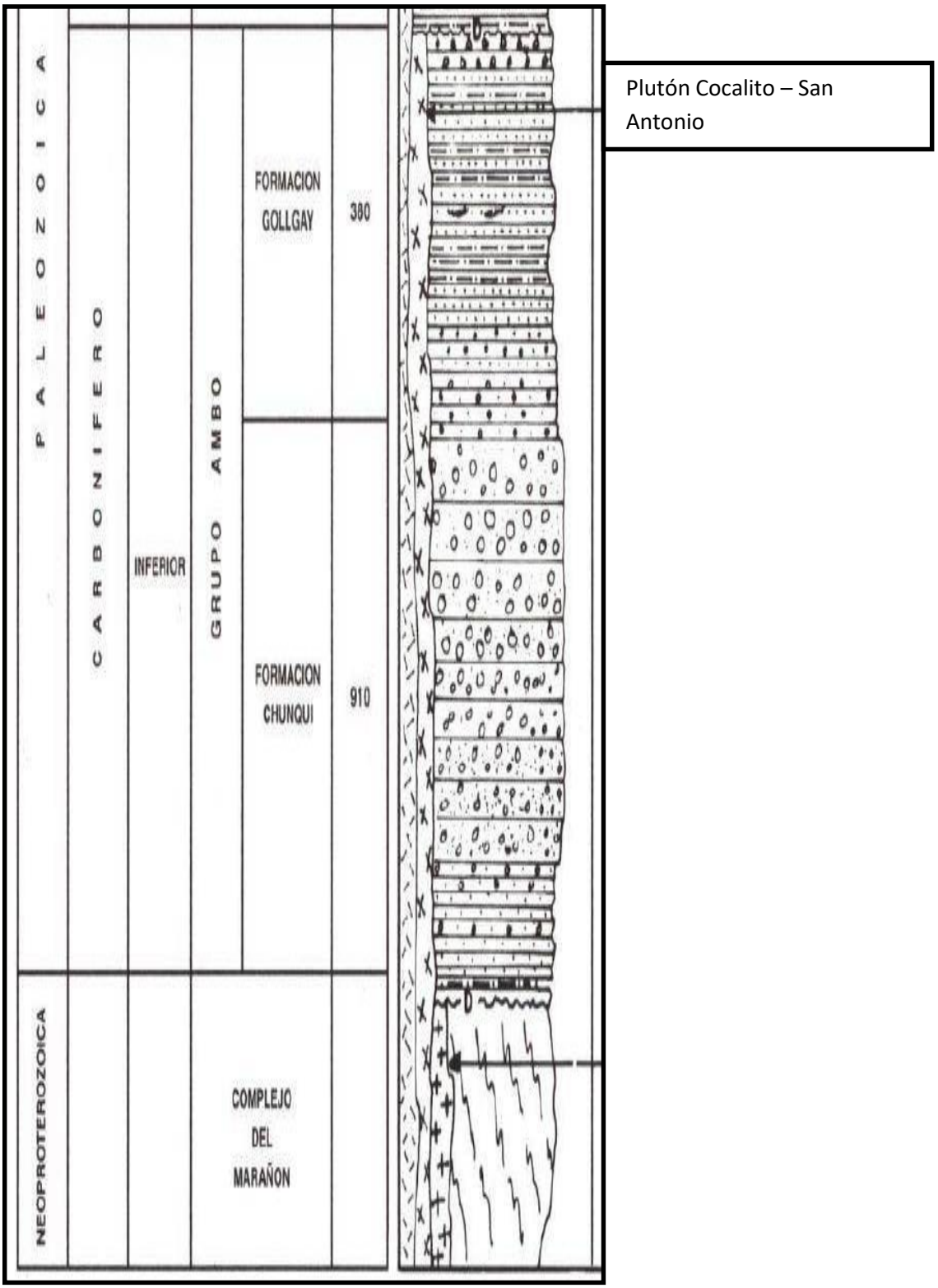
NOMBRE DEL PROYECTO

TITULO:	PLANO GEOLOGICO - CENTRAL HIDROELECTRICA CHONTAYACU ALTO Y BAJO
SOLICITA:	HIDROELECTRICAS LIMA SAC
PRESENTADO POR:	INGEODRILLING S.A.C.
ESCALA:	1/35000
FECHA:	13/12/2019
ZONA:	18S
DATUM:	WGS84

P-01

Tabla 2

Columna estratigráfica del CC. PP de San Antonio – Chontayacu bajo



Investigaciones geotecnicas de campo

Generalidades

El programa de toda la prospección geotécnica para el estudio de la Central Hidroeléctrica Chontayacu fue elaborado por JByA SAC, y se basa en las Especificaciones Técnicas Nro. 6CX355270 del 30 de noviembre de 2017.

La programación inicial contemplaba ejecutar 1,120 metros de perforación según planilla contractual), perforaciones con recuperación continua de muestras, ejecución de ensayos geotécnicos de permeabilidad, como Lefranc, Lugeon, ensayos de penetración standard SPT, excavación de calicatas que describiremos más adelante

Perforaciones geotécnicas diamantinas

Las perforaciones geotécnicas diamantinas fueron realizadas íntegramente por INGEODRILLIG bajo la supervisión del personal del consorcio JByA SAC, de acuerdo al programa indicado en elexpediente técnico que fue preparado por JByA SAC.

Las máquinas perforadoras utilizadas fueron los equipos Diamond 1000, Boyles Bross y la Diamec, las perforaciones se efectuaron mediante el sistema Wire Line, método de rotación con doble tubo, en diámetro HQ principalmente y HW para los revestimientos.

La perforación con doble tubo permitió realizar un mejor muestreo de los materiales de coberturay de los distintos niveles de suelo, durante el proceso se emplearon brocas impregnadas, sistema wire line, con muestreadores de 2.5m de longitud y tubo interior de 1.6m de extensión como máximo.

El programa inicial (contractual) fue reestructurado durante el desarrollo de los trabajos en **cuanto**a metrado y cantidad de perforaciones. El metrado final considerando el total de las perforacionesalcanza 1,143.85 metros.

Asimismo, se verifico en terreno las complicaciones para realizar las perforaciones diamantinas tanto en casa de máquinas y zona de presa; sectores que presentan relieves de difícil acceso, problemas de acceso hacia las plataformas, Cruce de ríos con caudales elevados, lejanía desde las zonas pobladas, apoyo logístico complicado para el abastecimiento de agua, petróleo y alimentación, factores climáticos.

El programa de investigación geotécnica mediante perforaciones diamantinas ejecutado consistió en:

- Ejecución de perforaciones en cada zona, casa de máquinas y zona de presa, tanto enChontayacu Alto y Bajo se ejecutó con la finalidad de investigar las condiciones estratigráficas, profundidad y calidad del macizo rocoso.

- En Chontayacu Alto y Bajo las perforaciones se realizaron a diferentes profundidades, según lo establecido, esto con la finalidad de investigar las condiciones geotécnicas de la cimentación, calidad y profundidad del basamento rocoso.

Tabla 3

Profundidad de perforación de cada sondaje en el proyecto Central Hidroeléctrica Chontayacu

PROYECTO	UBICACIÓN	PERFORACION	PROFUNDIDAD (m)
CHONTAYACUALTO	PRESA	CHCHA-DBH-01	40.30
		CHCHA-DBH-02	45.00
		CHCHA-DBH-03	53.15
		CHCHA-DBH-04	45.55
	CASA DE MAQUINAS	CHCHA-PBH-01	36.20
		CHCHA-PBH-02	35.50
		CHCHA-PBH-03	20.00
CHONTAYACUBAJO	PRESA	CHCHB-DBH-02	44.00
		CHCHB-DBH-03	56.00
		CHCHB-DBH-04	40.20
	CASA DE MAQUINAS	CHCHB-PBH-01	30.00
		CHCHB-PBH-02	20.10
CHONTAYACUALTO	PRESA	CHCHA-DSPT-01	30.45
		CHCHA-DSPT-02	85.00
		CHCHA-DSPT-03	25.00
CHONTAYACUBAJO	PRESA	CHCHB-DSPT-01	46.00
		CHCHB-DSPT-03	35.20
		CHCHB-DSPT-04	35.20

De acuerdo al Cuadro anterior se observa que el Proyecto Central Hidroeléctrica Chontayacu se dividió en dos Zonas (Chontayacu Alto y Chontayacu Bajo), de los cuales cada uno de estas zonas cuenta con dos áreas donde se realizaron las perforaciones, por un lado, está las zonas de presas donde se van a construir la hidroeléctrica y por el otro lado la casa de máquinas.

En cada uno de estas plataformas se realizaron perforaciones según lo establecido por el consorcio JByA SAC, los Ensayos que se realizaron en cada perforación fue estipulado de acuerdo al programa de investigación. Se realizaron ensayos de permeabilidad en rocas y ensayos de penetración estándar en suelos.

Estas perforaciones permitieron conocer la estratigrafía y la profundidad del basamento rocoso hacia la margen del rio Chontayacu, asimismo se buscó atravesar estructuras relevantes, especialmente en el sector zona de presa CHCHA-DSPT-02 que fue programado para alcanzar a los 100 metros de profundidad.

Los testigos recuperados de las perforaciones fueron muestreados, para realizar los ensayos de laboratorio respectivos.

La información de las perforaciones; coordenadas, profundidad, inclinación, orientación, ensayos ejecutados y otros datos de relevancia se muestran en el Cuadro

Tabla 4.

Cuadro resumen de trabajos ejecutados en Perforaciones

PROYECTO	UBICACIÓN	PERFORACION	COORDENADAS Y COTA			EJECUCION		PROG. EETT(m)	INCLINACION
			ESTE	NORTE	COTA	INICIO	TERMINO		
CHONTAYA CU ALTO	PRESA	CHCHA-DBH-01	314153.10	9047235.32	1503.59	10/10/2019	16/10/2019		90°
		CHCHA-DBH-02	314178.04	9047194.66	1503.35	24/10/2019	29/10/20219	45	90°
		CHCHA-DBH-03	314178.08	9047151.05	1510.03	7/11/2019	17/11/2019		90°
		CHCHA-DBH-04	314224.35	9047170.01	1509.28	25/11/2019	29/11/2019		90°
	CASA DE MAQUINAS	CHCHA-PBH-01	320163.19	9047800.94	1275.71	8/12/2019	11/12/2019		90°
		CHCHA-PBH-02	320176.24	9047821.1	1272.44	3/12/2019	6/12/2019		90°
		CHCHA-PBH-03	320187.89	9047844.74	1273.67	28/11/2019	1/12/2019		90°
CHONTAYA CU BAJO	PRESA	CHCHB-DBH-02	321435.65	9047519.54	1240.91	2/10/2019	6/10/2019		90°
		CHCHB-DBH-03	321431.28	9047620.26	1256.17	22/10/2019	28/10/2019		90°
		CHCHB-DBH-04	321378.29	9047599.32	1253.64	01/11/219	4/11/2019		90°
	CASA DE MAQUINAS	CHCHB-PBH-01	328354.28	9050427.01	926.86	12/12/2019	17/12/2019		90°
		CHCHB-PBH-02	328329.4	9050432.67	929.28	2/12/2019	9/12/2019		90°
CHONTAYA CU ALTO	PRESA	CHCH-DSPT-01	314156.05	9047235.36	1503.63	17/10/2019	23/10/2019		90°
		CHCH-DSPT-02	314176.78	9047201.42	1503.16	2/12/2019	7/12/2019		90°
		CHCH-DSPT-03	314178.36	9047154.72	1509.91	18/11/2019	21/11/2019		90°
CHONTAYA CU BAJO	PRESA	CHCH-DSPT-01	321431.8	9047546.25	1248.41	12/10/2019	18/10/2019		90°
		CHCH-DSPT-03	321431.17	9047619.2	1256.09	14/11/2019	18/11/2019		90°
		CHCH-DSPT-04	321377.19	9047599.86	1253.74	6/11/2019	8/11/2019		90°

Mapeo Geotécnico Geomecánico de Perforaciones

En la totalidad de las perforaciones ejecutadas que han alcanzado el basamento rocoso se ha realizado el mapeo Geomecánico en los testigos

obtenidos, en el Anexo y Apéndices respectivos se incluyen los registros Geológicos y la estratigrafía para cada una de las perforaciones ejecutadas en las zonas investigadas.

Con las muestras obtenidas se procedió a realizar el análisis Geomecánico a partir de los cores obtenidos, teniendo como prioridad la caracterización de las discontinuidades a partir del cual se ha podido determinar el índice de calidad RMR (Rock Mass Rating) desarrollada por Bieniawski en 1973, y que considera las actualizaciones propuestas en las modificaciones de 1979 y 1989. El índice de calidad RMR fue calculado en base a la incidencia de los siguientes parámetros:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
- Grado de fracturamiento en términos de RQD
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades, respecto a la perforación.

La evaluación de dichos parámetros se expresa por medio del índice de calidad denominado Rock Mass Rating-RMR, que varía de 0 a 100, desde Roca muy buena (TipoI) a Roca Tipo V (muy mala).

El registro de los mapeos geomecánicos que han sido realizados en cada una de las perforaciones, se encuentra indicado en cada registro geológico, Anexos 2.a al Anexo 2.f. En dichos registros se puede apreciar la calidad de la roca y la zonificación Geomecánico de cada perforación. El mapeo

Geomecánico se realizó para cada una de las corridas o tramos perforados, y en función del tipo de roca. El RMR fue calculado luego de realizarse las correcciones por presencia de agua (valoración por Agua).

Calicatas

Las actividades de excavación de calicatas fueron realizadas íntegramente por Ingeodrilling,17 calicatas en Chontayacu Alto y 18 Calicatas en Chontayacu Bajo, los trabajos se ejecutaronen las siguientes campañas:

La campaña mediante excavación de calicatas se ha centralizado en la investigación de los horizontes de materiales que serán de vital importancia para la construcción del proyecto.

Las calicatas fueron realizadas de acuerdo a lo programado, en diferentes ubicaciones donde se van a realizar las construcciones. Canteras de remolino, acceso a ventana de construcción, tuberías de construcción, campamentos, botaderos, casa de máquinas, patio de maniobras. Se siguió de acuerdo a lo programado;

Chontayacu Alto

- Área de cantera remolino: 02 calicatas para investigar la calidad del material, profundidad programada 3.00m, 1 de ellas no lograron por la presencia de grandes bloques.
- Área de Acceso a ventana de construcción: 05 calicatas, con profundidad programada de 3.00m, 1 de ellas no logró cumplir la profundidad programado por la presencia denivel freático.
- Área de campamento: 02 calicatas la profundidad proyectada fue de 3.00m, de los cuales las 2 calicatas alcanzaron la profundidad establecida.
- Área de campamento: 02 calicatas la profundidad proyectada fue de

3.00m, de los cuales las 2 calicatas alcanzaron la profundidad establecida.

- Área de Botadero captación: 01 calicata, con profundidad proyectada a 3.00m y se cumplió lo establecido.
- Área de botadero casa de máquinas: 02 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m, no lograron cumplir la profundidad por presencia de nivel freático.
- Área de botadero Topsoil: 03 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m, 1 de ellas no logró cumplir la profundidad programado por la presencia de bloques.
- Área de casa de máquinas: 01 calicata, con profundidad proyectada a 3.00m, lo cualno se logró cumplir con la profundidad por presencia de bloques.
- Área de patio de maniobras: 01 calicata, con profundidad proyectada a 3.00m, lo cualno se logró cumplir con la profundidad por presencia de bloques.

Chontayacu Bajo

Área de tuberías de construcción: 05 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m, 3 de ellas no lograron por la presencia de nivel freático.

- Área de acceso ventana de construcción: 04 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m, 2 de ellas no lograron llegar a la profundidad programado por presencia de bloques.
- Área de campamento: 02 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m, el cual no lograron por presencia de bloques.
- Área de botadero de captación: 02 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m, nolograron profundizar por presencia de bloque y nivel freático.

- Área de botadero casa de máquinas: 02 calicatas, con profundidad proyectada a 3.00m,1 no logró por presencia de bloques.
- Área de botadero de topsoil: 01 calicata, con profundidad proyectada a 3.00m, el cualsi se logró con lo programado.
- Área de casa de máquinas: 01 calicata, con profundidad proyectada a 3.00m, el cual si se logró con lo programado.
- Área de patio de maniobras: 01 calicata, con profundidad proyectada a 3.00m, el cualsi se logró con lo programado.

Para efectos de la ejecución de los ensayos de laboratorio, se contó con el laboratorio de E y P de Ingeniería, laboratorio en el cual se ha ejecutado la mayor cantidad de ensayos ya que cuenta con un laboratorio completo para análisis y ejecución de los ensayos de clasificación.

La excavación manual fue realizada con cuadrillas de obreros, en casi todas las áreas la profundización de las calicatas fue condicionada principalmente por la presencia de agua y en otros casos menores por presencia de grandes bloques en el fondo.

La ubicación de las excavaciones (calicatas) ejecutadas se halla consignado en los puntos CHCHA-TP-04 alineamiento Tubería forzada, CHCH-TP-05 en sector casa de máquinas, CHCHA-TP-06 área de préstamo Bocatoma y en el CHCHA-TP-07 se muestra la ubicación de las calicatas ejecutadas en el área de campamento. En los siguientes cuadros se resume la totalidad de calicatas

.

Tabla 5.

Calicatas ejecutadas para investigación geotécnica – Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto

CHONTAYACU ALTO										
Ubicación	Nro. Calicata	Coordenadas UTM 18S			Prof. (m)	Fecha	Dimensiones	N.F (m)	Condiciones Superficiales	Observaciones
		Este	Norte	Cota						
Cantera Remolino	CHCHA-TP-01	310,965	9,046,896	1,548.00	3	5/10/2019	2X1.5X3	2.8	PLANA	
Cantera Remolino	CHCHA-TP-02	311,026	9,046,947	1,549.00	2.2	5/10/2019	2X1.2X2.20	N.A.	PLANA	Se suspende presencia de Bloque
Acceso a Ventana de Construcción 1	CHCHA-TP-03	314,753	9,047,523	1,530.00	3	1/10/2019	2X1.5X3	N.A.	PLANA	Se modificó el punto por motivo que el punto establecido indicaba en el río.
Acceso a Ventana de Construcción 2	CHCHA-TP-04	320,435	9,047,704	1,254.75	1.75	7/10/2019	2X1.5X1.75	1.5	PLANO	Paraliza por presencia de N.F.
Acceso a Ventana de Construcción 2	CHCHA-TP-05	320,464	9,047,508	1,340.40	3	9/10/2019	2X1.3X3	N.A.	INCLINADO	
Acceso a Ventana de Construcción 2	CHCHA-TP-06	320,215	9,047,486	1,445.20	3	9/10/2019	2X1.2X3	N.A.	INCLINADO	
Acceso a Ventana de Construcción 2	CHCHA-TP-07	320,226	9,047,209	1,550.00	3	10/10/2019	2X1.3X3	N.A.	INCLINADO	A los 2.80m presencia de bloque
Campamento 1	CHCHA-TP-08	315,882	9,048,407	1,460.01	3	4/10/2019	1.5X1.4X3	N.A.	PLANA	
Campamento 1	CHCHA-TP-09	315,668	9,048,262	1,461.08	3	4/10/2019	2X1.4X3	N.A.	PLANA	

Botadero Captación	CHCHA-TP-10	314,954	9,047,666	1,545.69	3	2/10/2019	2X2X3	N.A.	PLANA	
Botadero Casa de Maquinas 1	CHCHA-TP-11	319,834	9,047,799	1,285.69	1.1	8/10/2019	2X1.0X1.10	0.8	PLANO	Paraliza por presencia de N.F.
Botadero Casa de Maquinas 2	CHCHA-TP-12	319,579	9,047,992	1,303.82	1.8	8/10/2019	2X1.3X1.80	1.55	PLANO	Paraliza por presencia de N.F.
Botadero Topsoil 1	CHCHA-TP-13	314,642	9,047,373	1,545.85	3	2/10/2019	2X2X3	N.A.	INCLINADO	A los 2.80m presencia de bloque
Botadero Topsoil 2	CHCHA-TP-14	314,665	9,047,957	1,538.50	1.75	3/10/2019	2X1.5X1.75	N.A.	PLANA	Paraliza por presencia de N.F.
Botadero Topsoil 3	CHCHA-TP-15	319,770	9,048,167	1,309.00	3	10/10/2019	2X1.3X3	N.A.	INCLINADO	
Casa de Maquinas	CHCHA-TP-16	320,159	9,047,811	1,274.46	1.8	9/10/2019	3X1.5X1.80	N.A.	PLANO	
Patio de maniobras	CHCHA-TP-17	320,221	9,047,798	1,271.58	1.25	7/10/2019	3X1.3X1.25	N.A.	PLANO	

Tabla 6.

Calicatas ejecutadas para investigación geotécnica – Central Hidroeléctrica Chontayacu Bajo

CHONTAYACU ALTO										
Ubicación	Nro. Calicata	Coordenadas UTM 18S			Prof. (m)	Fecha	Dimensiones	N.F (m)	Condiciones Superficiales	Observaciones
		Este	Norte	Cota						
Tubería de conducción	CHCHB-TP-01	321,592	9,047,59	1,547.25	2.2	3/10/2019	2X1.5X2.20	1.75	PLANO	Nivel freático 1.75m
Tubería de conducción	CHCHB-TP-02	321,759	9,047,661	1,247.91	2.1	3/10/2019	2X1.2X2.10	1.8	PLANO	Nivel freático 1.80m
Tubería de conducción	CHCHB-TP-03	321,962	9,047,750	1,228.15	3	7/10/2019	2X1.5X3	N.A.	PLANO	
Tubería de conducción	CHCHB-TP-04	322,127	9,047,655	1,233.50	1.5	8/10/2019	2X1.2X1.50	1.2	PLANO	Nivel freático 1.20m
Tubería de conducción	CHCHB-TP-05	322,312	9,047,598	1,241.70	3	8/10/2019	2X1.3X3	N.A.	INCLINADO	
Acceso Ventana de construcción 01	CHCHB-TP-06	328,379	9,050,714	964.20	3	15/10/2019	2X1.5X3	N.A.	INCLINADO	
Acceso Ventana de construcción 01	CHCHB-TP-07	328,147	9,050,725	1,010.00	1.8	17/10/2019	2X1.5X1.80	N.A.	INCLINADO	Paraliza por presencia de bloque
Acceso Ventana de construcción 01	CHCHB-TP-08	327,600	9,050,989	1,105.00	2.4	17/10/2019	2X1.5X240	N.A.	INCLINADO	Paraliza por presencia de bloque
Acceso Ventana de construcción 01	CHCHB-TP-09	327,838	9,050,479	1,197.50	3	17/10/2019	2X1.2X3	N.A.	INCLINADO	
Campamento 2	CHCHB-TP-10	323,663	9,047,074	1,182.30	2.3	19/10/2019	2X1.5X2.30	N.A.	PLANO	Paraliza por presencia de bloque
Capamento opcional	CHCHB-TP-11	324,058	9,047,151	1,162.31	2.6	19/10/2019	2X1.5X2.60	N.A.	PLANO	Paraliza por presencia de bloque

Botadero Captación 1	CHCHB-TP-12	321,886	9,047,666	1,228.45	2.1	5/10/2019	2X1.5X2.10	1.7	PLANO	Nivel freático 1.70m
Botadero Captación 2	CHCHB-TP-13	322,262	9,047,451	1,230.21	1.5	8/10/2019	2X1.5X1.50	N.A.	PLANO	Paraliza por presencia de bloque
Botadero Casa deMaquinas 1	CHCHB-TP-14	328,891	9,050,719	937.7	2.8	16/10/2019	2X1.5X2.80	N.A.	PLANO	Paraliza por presencia de bloque
Botadero Casa deMaquinas 2	CHCHB-TP-15	328,237	9,049,964	944.32	3	18/10/2019	2X1.5X3	N.A.	INCLINADO	
Botadero de Topsoil	CHCHB-TP-16	328,198	9,050,932	1,020.61	3	15/10/2019	2X1.4X3	N.A.	PLANO	
Casa de Maquinas	CHCHB-TP-17	328,318	9,050,445	945.1	3	14/10/2019	2X1.5X3	N.A.	INCLINADO	
Patio de maniobras	CHCHB-TP-18	328,314	9,050,406	941.85	3	13/10/2019	2X1.5X3	N.A.	INCLINADO	

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Mapeo geotécnico de calicatas y muestreo

La clasificación y descripción de los suelos encontrados en las excavaciones se realizó de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM D 2488 de procedimientos de clasificación visual en campo (Description and Identification of Soils / Visual - Manual Proccedure

La descripción de los suelos tanto en calicatas de área de préstamo como para cimentación de la tubería forzada, incluye los siguientes puntos:

- Nombre del suelo, descripción visual del suelo predominante.
- Color, nos indica los componentes físicos químicos y biológicos que presentan los suelos (marrón claro, pardo, negro, gris claro, gris verdoso hasta gris oscuro etc)
- Adjetivo de Plasticidad (suelos finos)
- Contenido de humedad (seco, ligeramente húmedo, húmedo, mojado)
- La consistencia aparente (para suelos finos) o la densidad relativa o compacidad (parasuelos granulares).
- Componentes de suelos menores que se estiman como aquellos cuyo porcentaje es menor al 15% y que están referidos al término de “rastros” o “trazas.”
- Porcentaje de elementos gruesos bloques, bolos, gravas, arena y finos (visual),resultados que posteriormente fueron verificados y corregidos con los resultados de laboratorio.
- Tamaño máximo de los fragmentos.
- Angulosidad - Redondez (anguloso, sub anguloso, redondeado, sub redondeado).

- Forma de los fragmentos.
- Olor (Si hay)
- Otras características identificables.

El muestreo, los resultados de los ensayos, las fotografías de las paredes y demás datos, se compilan en el Anexo 3 – Calicatas,

4.2.2. Ensayos de permeabilidad en perforaciones

Una de las características de importancia para el estudio fue conocer la permeabilidad de cadauna de las unidades litológicas que fueron cortadas por las perforaciones ejecutadas. Consecuentemente fue necesario determinar el comportamiento hidrogeotécnico dentro de los sondajes abiertos a distintas profundidades de la perforación, mediante ensayos de permeabilidad in situ.

En las perforaciones constituidas por suelos de cobertura y roca muy fracturada, la permeabilidad fue calculada en base a los ensayos Lefranc con carga constante y variable, los resultados permitieron conocer el coeficiente de permeabilidad de manera puntual y referencial para cada unidad atravesada.

En los sectores en que el macizo rocoso presentaba buenas condiciones geomecánicas se ejecutaron ensayos a presión del tipo Lugeon.

Y en los sectores donde el estrato presenta comportamiento de suelo, se realizaron ensayos de Penetración Estándar (SPT). A continuación, se describe los ensayos de campo ejecutados.

Ensayos Lefranc

El ensayo de carga constante y variable se empleó para medir los coeficientes de permeabilidad, en suelos situados por debajo y/o por encima del nivel freático, en suelos o rocas muy fracturadas.

Existen dos tipos de ensayos de permeabilidad Lefranc: Carga Constante y Carga Variable, para nuestro caso la mayor parte de ensayos ejecutados fue del tipo Carga constante. En la zona de presa de Chontayacu Alto se ejecutaron 4 ensayos entre carga constante y variable con recuperación.

Se hace mención en algunas perforaciones ubicadas en la zona de presa, el macizo rocoso seencontraba muy fracturado los coeficientes de permeabilidad fueron determinados mediantela ejecución de ensayos Lefranc.

Ensayo de carga constante

Estas pruebas reciben este nombre porque durante toda la ejecución, se mantiene un nivel constante de agua en la boca del sondaje.

Alcanzando la profundidad designada para el ensayo, se introduce un caudal conocido cuidando de mantener el mismo nivel de agua dentro de la perforación. Al estabilizar el nivel de agua, se procede a realizar como mínimo 10 medidas cada un minuto, registrándose el caudal que pasa en el caudalímetro. Con este caudal conocido, la longitud y el diámetro de perforación, se calcula la permeabilidad.

- **Procedimiento de prueba**

  Se vierte agua suministrada por bomba a la boca de la tubería de revestimiento, haciendo que el agua suba a lo largo de ella, hasta conseguir que alcance un nivel constante y consecuentemente un consumo constante.

  El control del nivel constante es posible mediante las válvulas de suministro de agua al taladroy de descarga.

  En seguida la estabilización del nivel, se determina el caudal que ingresa a través del bulbo de ensayo, por diferencia de lecturas, en cada minuto transcurrido.

Se realizan lecturas durante diez minutos con el nivel estabilizado y el caudal es el promediode estas 10 lecturas.

El nivel constante determina una carga constante que actúa sobre un tramo de ensayo. La carga hidráulica es función de la altura que separa el nivel estabilizado del nivel freático (Hn), cuando lo hay, o bien a la mitad del tramo de ensayo (S) cuando el nivel freático está por debajo del fondo del taladro.

Además, se determina los parámetros inherentes al bulbo de ensayo, como el diámetro y la longitud (S/Φ).

- **Cálculo del valor de la permeabilidad**

  Conocidos los parámetros referidos en el párrafo anterior, se procede al cálculo del valor de permeabilidad. Para el cálculo de la permeabilidad de una prueba, se tiene en cuenta el factor de forma delbulbo de ensayo (S/Φ). Para el cálculo de las pruebas se considera tres rangos de la relación S/Φ, donde:S: Tramo de ensayo y Φ: Diámetro interior de la tubería

Ensayo de carga variable

El procedimiento utilizado para la prueba de permeabilidad con carga variable consiste en realizar la perforación a una profundidad designada, llenar el pozo de perforación con agua limpia, y monitorear la velocidad a la que desciende el agua en el pozo de perforación, se realizan como mínimo 10 medidas de un minuto cada uno. Si el tramo de prueba está por encima del nivel freático, se deberá añadir la cantidad suficiente de agua a la perforación para saturar el tramo de prueba antes de realizar la prueba.

El ensayo Lefranc carga variable utiliza los mismos criterios del ensayo de carga constante respecto a la preparación del bulbo de ensayo e instalación de equipo.

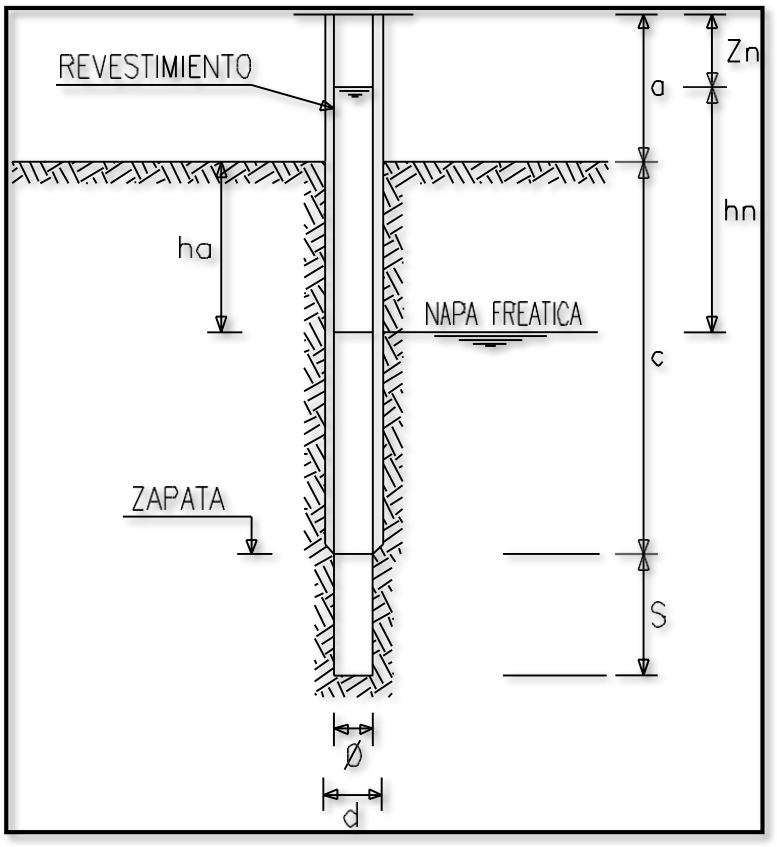
El procedimiento de las lecturas en el ensayo de carga variable marca la diferencia entre los dos ensayos; en el ensayo de carga variable después de alcanzado un nivel constante dentro del revestimiento, se corta el suministro de agua y se empieza a medir el descenso del agua en la tubería, al inicio del ensayo en lapsos de tiempo cortos y después más largos, a medida que el nivel de agua se acerque a la estabilización.

Para el cálculo de la prueba también se considera tres rangos de la relación S/ϕ.

S: Tramo de ensayo

ϕ: Diámetro interior de la tubería

Imagen 1. Esquema de instalación ensayo Lefranc



Las pruebas del tipo Lefranc fueron practicadas en suelos (unidades granulares) generalmente homogéneas y continuas y rocas muy fracturadas, en las que es posible aplicar los principios de la ley de Darcy, según el procedimiento que establece el Bureau of Reclamation.

Los ensayos de Permeabilidad del tipo Lefranc se desarrolló de la siguiente manera:

Chontayacu Alto

En total fueron ejecutados 55 ensayos Lefranc, de los cuales 39 se realizaron por el método carga constante y 16 ensayos mediante el método de recuperación de nivel a carga variable.

Chontayacu Bajo

En total fueron ejecutados 42 ensayos Lefranc, de los cuales todos se realizaron por el métodocarga constante.

En el cuadro siguiente se relaciona la totalidad de ensayos ejecutados en cada uno de los sectores investigados y los resultados se incluyen en la descripción geológico geotécnica de cada una de las perforaciones.

Tabla 7.

Resumen de ensayos de permeabilidad tipo Lefranc

SONDEO	TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
P1	LEFRANC C. CTE.	1	11.35 - 11.85	Lutita Pizarrosa	4.49 E-03
	LEFRANC C. CTE.	2	17.00 - 17.50	Arenisca	1.87 E-03
	LEFRANC C. CTE.	3	19.60 - 20.10	Arenisca	3.17 E-03
P2	LEFRANC C. CTE.	1	9.20 - 9.70	Arenisca	3.29 E-04
	LEFRANC C. CTE.	2	14.35 – 15.00	Arcillita	4.76 E-04
	LEFRANC C. CTE.	3	19.60 – 20.10	Arenisca	2.15 E-03
P3	LEFRANC C. CTE	1	4.15 – 5.60	Grava arenosa con matriz arcillosa	4.15 E-05
	LEFRANC C. CTE	2	7.38 – 10.20	Arenisca	7.38 E-03
	LEFRANC C. CTE	3	2.54 – 20.00	Arenisca Limo arcillita	2.54 E-03
P4	LEFRANC C. CTE	1	24.70 – 25.20	Arenisca	4.91 E-03
	LEFRANC C. CTE	2	34.60 – 35.10	Arenisca	2.80 E-03
	LEFRANC C. CTE	3	39.50 – 40.00	Arenisca	2.42 E-03
P5	LEFRANC C. CTE	1	40.50 – 41.10	Arcillita	1.10 E-05

P7	LEFRANC C. CTE	1	85.30 – 85.80	Arenisca	5.58 E -05
	LEFRANC C. CTE	2	88.10 – 88.60	Arcillita	1.40 E-04
P13	LEFRANC C. CTE	1	76.20 – 76.70	Gneis	3.16 E-05
P14	LEFRANC C. CTE	1	4.10 – 4.30	Arena con grava	1.04 E-03
	LEFRANC C. CTE	2	11.35 – 11.85	Gneis granítico	8.16 E-03
P15	LEFRANC C. CTE	1	4.30 – 4.70	Gneis alterado	7.20 E-02
P20	LEFRANC C. CTE	1	4.50 – 4.70	Arena con grava	3.55 E-03
	LEFRANC C. CTE	2	12.00 – 12.50	Gneis alterado	4.41 E-04
P23	RECUP. C. VAR.	1	6.00 – 6.50	Suelos Aluviales	1.88 E-03
	RECUP. C. VAR.	2	13.85 – 14.35	Gneis	1.13 E-03
P24	RECUP. C. VAR.	1	14.50 – 15.00	Gneis	5.63 E-03
P16	LEFRANC C. CTE	1	6.00 – 6.40	Gravas y bolos	4.25 E-02
	LEFRANC C. CTE	2	14.50 - 15.00	Gravas y bolos	2.47 E-02

Ejecución de ensayo de permeabilidad tipo Lugeon

Ensayos Lugeon

En los macizos rocosos la permeabilidad es genéticamente secundaria y está determinada porel fracturamiento del mismo. Para medir la permeabilidad in situ del macizo rocoso, básicamente en el punto de perforación CHCHA-DBH-03 ubicado en Chontayacu Alto se realizó dos ensayos de permeabilidad a carga constante con packer simple, de acuerdo al procedimiento que establece el

United Department of the Interior – Bureau of Reclamation, bajo la designación USBR.

Los resultados de permeabilidad de packer permitieron obtener coeficientes de permeabilidaden valores de U.L. (Unidades Lugeon), los cuales fueron convertidos a valores en cm/s, empleando el siguiente factor: 1 U.L. = 1,3 E-05 cm/s (A. C. Houlsby 1976).

Las planillas de cálculo de los ensayos de permeabilidad se incluyen en los Apéndices de cada uno de los sectores investigados, mientras que el resumen se muestra independientemente en la descripción de cada uno de los sondeos diamantinos en que fueronejecutados.

Tabla 8.

Resumen de ensayos de permeabilidad tipo Lugeon

SECTOR	SONDEO	N°	FECHA	DE - A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K (cm/s)	FLUJO
TUNEL DE CONDUCCION	P7	1	23/11/2018	92.50 – 96.30	Arenisca con lentes de carbón	0.48	6.24 E-06	Turbulento
		2	23/11/2018	97.00 – 101.50	Arenisca con lentes de carbón	0.21	2.74 E-06	Laminar - Dilatación
		3	24/11/2018	105.00 –110.40	Limolita y arcilita carbonosa	0.24	3.14 E-06	Laminar - Dilatación
	P8	1	11/12/2018	84.40 – 89.40	Arenisca	0.23	3.01 E-06	Relleno
		2	11/12/2018	91.00 – 95.60	Arenisca	6.32	8.21 E-05	Dilatación
		3	12/12/2018	96.00 – 100.00	Arenisca	24.68	3.21 E-04	Erosión
	P9	1	15/01/2019	84.40 – 89.30	Arenisca	0.27	3.57 E-06	Relleno
		2	20/01/2019	97.50 – 102.40	Arenisca	15.68	2.04 E-04	Erosión
		3	23/01/2019	113.00 –118.50	Limolita	12.66	1.65 E-04	Erosión
	P10	1	22/12/2019	77.40 – 82.40	Granito		< E-06	

		2	23/11/2019	85.90 – 90.90	Granito	0.29	3.72 E-06	Laminar Dilatación
		3	23/12/2019	91.30 – 96.30	Granito	0.25	3.29 E-06	Laminar Dilatación
		4	23/12/2019	95.00 – 100.40	Granito	0.26	3.32 E-06	Laminar Dilatación
	P12	1	20/12/2019	20.80 – 25.80	Esquisto	1.52	1.97 E-05	Dilatación
		2	21/12/2019	26.20 – 31.20	Esquisto – Gneis	0.17	2.16 E-06	Relleno
CASA DE MAQUINA.	P15	1	29/11/2018	5.80 – 10.80	Gneis	13.44	1.75 E-04	Erosión
	P21	1	03/12/2018	15.60 – 20.60	Gneis	5.59	7.27 E-05	Erosión

Ensayos de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de penetración standard (SPT) es un ensayo de campo, se mide la resistencia a la penetración del terreno mediante la hinca dinámica de un sacamuestras que tiene una forma normalizada. El sacamuestras se hinca 45 cm en el fondo de una perforación mediante golpes con el martillete de 63.5 kg que cae desde 76 cm de altura, Aunque se recupera una muestra, este no es el objetivo principal del ensayo. Hay dos resultados posibles:

- NSPT: Un número entero adimensional igual a la cantidad de golpes necesarios para que elsacamuestras penetre en el terreno los últimos 30 cm
- Rechazo: más de 50 golpes para 15 cm, más de 100 golpes o 10 golpes sin ningún avance: Se informa como NN/pp, donde pp es la penetración total en centímetros para NN golpes

Las perforaciones donde se realizaron el ensayo SPT se detalla a continuación:

Chontayacu Alto

- CHCHA-DSPT-01: Se registraron 27 ensayos
- CHCHA-DSPT-02: Se registraron 18 ensayos

- CHCHA-DSPT-03: Se registraron 21 ensayos

  Chontayacu Bajo
- CHCHB-DSPT-01: Se registraron 9 ensayos
- CHCHB-DSPT-03: Se registraron 15 ensayos
- CHCHB-DSPT-04: Se registraron 13 ensayos

Instalación de Piezómetros y Nivel freático en las perforaciones

Con el propósito de monitorear los niveles de agua en el terreno de fundación en ambas zonas Chontayacu Alto y Bajo, se instalaron piezómetros hidráulicos del tipo Casagrande, sondeos CHCHA-DBH-01, CHCH-DSPT-01, CHCHA-DBH-02, CHCHB-DSPT-01

Los piezómetros hidráulicos consistieron de tuberías de PVC de 2" de diámetro. La tubería colocada posee ranuras transversales de 0,02" (0,508mm) dispuestas en dos franjas longitudinales.

Tabla 9.

Niveles freáticos en la perforación CHCHA-DBH-02

MED.	FECHA	HORA	PROF. (m)	VARIACION	OBSERVACION
1	27/11/2019	17:40	1.80		
2	28/11/2019	17:00	1.70	-0.10	
3	08/11/2019	14:05	2.50	0.80	

Ensayos de laboratorio en material para agregados

Los análisis fueron realizados en muestras disturbadas que fueron obtenidas durante la ejecución de las excavaciones en cada una de las tres áreas de préstamo que han sido identificadas. Los análisis fueron realizados íntegramente en el laboratorio geotécnico de EyP de Ingeniería en Lima,

ejecutándose los siguientes ensayos para clasificación de agregado y ensayos especiales.

- Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D422 - 63),
- Análisis granulométrico total del agregado (ASTM C136),
- Clasificación SUCS (ASTM D 2487),
- Peso específico de solidos (ASTM D-854),
- Módulo de Fineza,
- Material más fino que el tamiz Nro. 200 (ASTM C 117),
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C127),
- Gravedad específica y absorción del agregado fino (ASTM C 128),
- Durabilidad agregado grueso (ASTM C 88),
- Durabilidad agregado fino (ASTM C 88),
- Abrasión Los Ángeles (ASTM C 131),
- Determinación de impurezas orgánicas en agregado fino (ASTM C 40),
- Contenido de cloruros, sulfatos y sales solubles (ASTM D1889, D512 y D516), Los ensayos para determinar el potencial de reactividad alcalina fueron ejecutados en el laboratorio de ARPL Tecnología Industrial. Los ensayos programados en coordinación con la supervisión son:
- Reacción álcali – cemento químico (ASTM C 289),
- Reacción álcali – cemento bloque de mortero (ASTM C1260) ensayo rápido,

- Reacción álcali – cemento bloque de mortero (ASTM C227) ensayo lento.

Área de préstamo LLuta – Bocatoma

Ensayos de clasificación del agregado

En las nueve calicatas se realizaron igual número de ensayos para determinar las propiedades granulométricas y de clasificación, las muestras obtenidas, muestran contenido de humedad ligera a húmeda.

La clasificación SUCS y análisis granulométrico por tamices, indican que los materiales son principalmente GRAVA ARENOSA (GP) y GRAVA ARENOSA CON LIMOS (GP-GM) yARENA CON LIMOS (SP-SM).

Son suelos granulares cuyos porcentajes de material más fino que el tamiz N° 200 varía entre5.63% y 13.68%, no presenta índices de plasticidad. El porcentaje máximo permisible para material de agregado es 5%, es decir que el material requerirá de venteo y/o lavado para eliminar el porcentaje de la fracción fina presente. El peso específico de solidos es bueno, en todos los casos mayor a 2.7 y oscila entre 2.701 y2.741.

Del análisis granulométrico del agregado fino, y comparando los resultados con el Husogranulométrico recomendado para el concreto, se observa que los resultados del análisis presentan un material faltante entre 15% a 20% entre las mallas N°8 a N°50 (arena gruesa a media), en cuanto al agregado grueso las curvas en su gran mayoría encajan en el huso granulométrico, por el porcentaje existente en cuanto a material mayor de 3”, se estima que serequerirá del uso de chancado y zarandeo para optimizar la producción de la cantera.

Ensayos especiales

Su módulo de fineza de 1.926 a 2.773, nos indica que hay cierta deficiencia en el contenido dearenas medias, esta situación no será determinante

ya que se remedia haciendo ajustes al diseño en lo que respecta al contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Valores de módulo de fineza de 2.5 a 3.0 son óptimos para agregado fino.

Los valores de la Gravedad Específica Bulk s.s.s. son menores que 2.650, con valores entre 2.554 a 2.595 para agregados gruesos y 2.591 a 2.625 para agregados finos y en la absorción en todos los casos es mayor que el 1%. Una absorción elevada demanda utilizar mayor volumen de agua en el diseño.

Los resultados obtenidos en los ensayos de Durabilidad Método del sulfato de magnesio son menores de 10.66% (calicata PLL-9) para el agregado grueso y 10.15% (calicata PLL-3) para el agregado fino, para este ensayo la norma considera 10% máximo para los agregados gruesos y 15% máximo para los agregados finos, por consiguiente, se considera que se encuentran dentro del rango aceptable.

En los ensayos de abrasión Máquina de los Ángeles, se obtuvieron valores entre 16.9 y 33.48% para el total del agregado, la norma ACI y Reglamento Nacional de Construcciones recomienda que el valor máximo aceptado es de 40%.

Los resultados obtenidos en los ensayos químicos:

- **S.S.T.** de 340 a 2,760 p.p.m. La norma indica que son permisibles valores de hasta5,000 p.p.m.
- **Cl** de 97.67 a 670.38 p.p.m., se encuentran dentro de los rangos permisibles ya quese aceptan valores de hasta 3,000 p.p.m.
- **SO+** de 78.58 hasta 571.62 p.p.m., son bajos, ya que se aceptan valores de hasta1,000 p.p.m.
- La única salvedad que se hace es la existencia de un mayor porcentaje de

grava quesupera las 3” y que visualmente se observa en todas las calicatas ejecutadas.

- Los certificados con los resultados de los ensayos de laboratorio se incluyen en el ANEXO 4 – Ensayos de Laboratorio sobre muestras de Agregado – Anexo 4.a Áreade Préstamo Lluta, Apéndices 4.a.1 y 4.a.2.
- Del mismo modo, los resultados se han incluido en los respectivos registros geológicos de excavación de calicatas. Se muestran en resumen los resultados.

Tabla 10.

Resultado ensayos SUCS, Pe, M.F., Material más fino que tamiz 200, Ge y Absorción del agregado

					Peso específico	Módulo de fineza	Material másfino que el tamiz Nº 200	Gravedad Especifica y absorción agregado grueso				Gravedad Especifica y absorción agregado fino			
DESIGNACIÓN		MUESTRA	TRAMO	SUCS	P. e	M.F.	%	Grav. Espec. Aparente	Grav.Espec. Bulk s.s.s	Grav.Espec.	Absorción %	Grav. Espec. Aparente	Grav.	Grav.Espec.	Absorción %
C1	PLL-C1	M-1	0.00 -1.50	SP- SM	2.718	2.365	9.69	2.657	2.566	2.511	2.19	2.663	2.604	2.569	1.37
C2	PLL-C2	M-1	0.00 -0.75	GP-GM	2.701	1.926	10.74	2.636	2.579	2.544	1.37	2.674	2.562	2.543	1.93
C3	PLL-C3	M-1	0.00 -1.60	GP-GM	2.732	2.097	12.82	2.646	2.584	2.547	1.46	2.658	2.591	2.551	1.58
C4	PLL-C4	M-1	0.00 -1.60	SP	2.729	2.273	5.63	2.656	2.585	2.541	1.71	2.67	2.597	2.553	1.74
C5	PLL-C5	M-1	0.00 -0.90	GP	2.741	2.048	7.29	2.665	2.595	2.553	1.64	2.667	2.620	2.591	1.10
C6	PLL-C6	M-1	0.00 -2.50	GP	2.709	2.476	8.20	2.633	2.554	2.506	1.92	2.669	2.622	2.594	1.07
C7	PLL-C7	M-1	0.00 -3.00	GP-GM	2.718	2.283	13.68	2.665	2.595	2.552	1.67	2.699	2.623	2.573	1.71
C8	PLL-C8	M-1	0.00 -3.00	GP	2.722	2.614	8.85	2.682	2.588	2.533	2.19	2.686	2.625	2.590	1.39
C9	PLL-C9	M-1	0.00 -3.00	SP-SM	2.717	2.773	11.98	2.625	2.572	2.539	1.30	2.693	2.618	2.574	1.72

Tabla 11.

Resultado ensayos de Durabilidad, Abrasión, Impurezas orgánicas y análisis químicos

				Durabilida dagregado grueso	Durabilidad agregado fino	Abrasión Los Ángeles	Impurezas orgánicas agreg. Fino	ANALISIS QUIMICOS		
DESIGNACION		MUESTRA	TRAMO	Perdida Corregida %	Perdida Corregida %	Porcentaje de desgaste	M.O. %	S.S.T. p.p.m.	Cl p.p.m.	SO_4 p.p.m.
C1	PLL-C1	M-1	0.00 - 1.50	8.21	6.80	28.77	0.32	860.00	240.6	193.7
C2	PLL-C2	M-1	0.00 - 0.75	7.19	7.98	26.23	0.56	2,760.00	670.38	571.62
C3	PLL-C3	M-1	0.00 - 1.60	3.88	10.15	17.66	0.55	850.00	237.81	191.44
C4	PLL-C4	M-1	0.00 - 1.60	3.35	9.70	16.90	0.41	350.00	104.92	83.83
C5	PLL-C5	M-1	0.00 - 0.90	4.49	9.35	18.84	0.31	690.00	201.49	150.41
C6	PLL-C6	M-1	0.00 - 2.50	9.50	8.94	30.15	0.60	515.00	141.44	113.49
C7	PLL-C7	M-1	0.00 - 3.00	7.39	8.55	17.66	0.59	345.00	101.18	79.95
C8	PLL-C8	M-1	0.00 - 3.00	3.92	9.49	18.02	0.58	340.00	97.67	78.58
C9	PLL-C9	M-1	0.00 - 3.00	10.66	9.93	33.48	0.41	510.00	145.29	112.36

Ensayos reacción Álcali

Para análisis del potencial de reactividad alcalina, álcali cemento químico y álcali cemento bloque de mortero, se seleccionaron muestras de las calicatas PLL-C3, PLL- C4, PLL-C6 y PLL-C9, las pruebas programadas fueron realizadas según las Normas ASTM relacionadas seguidamente:

a) Método de Ensayo Estándar para Reactividad potencial Álcali-Sílice de Agregados(Método Químico) – ASTM C289.

Este método de ensayo cubre la determinación de la reactividad potencial

de un agregado con álcalis en concreto de cemento portland, la cual está indicada por la cantidad de reacción durante 24 h a 80ºC entre una solución de hidróxido de sodio 1 N y agregado, previamente triturado y cernido para pasar por un tamiz de 300-µm y ser retenido por uno de 150-µm.

El análisis de los resultados se basa en un Abaco incluido en la Norma (C289-Pag 7), que cataloga los agregados entre perjudiciales e inocuos con base al ensayo de reducción de la alcalinidad. Para el caso de los ensayos en el sector Bocatoma, las muestras de las calicatas PLL-C6 y PLL-C9 se ubican en rangos de agregados considerados inocuos y las calicatas PLL-C3 y PLL-C4 se encuentran en limite potencial inocuo – perjudicial (nocivo).

b) Método de Ensayo Estándar para Reactividad potencial Álcali Cemento-Agregado Bloque) - ASTM C1260. Estos ensayos fueron programado en dos muestras de las calicatas PLL-C3 y PLL-C6, los resultados se encuentran entre valores 0.22 a 0.80.

Método de Ensayo Estándar para Reactividad potencial Álcali-Física Cemento-Agregado Bloque) - ASTM C227. Este ensayo fue programado con las muestras de las calicatas PLL-C4 y PLL-C9. en el siguiente cuadro se muestran los resultados a las 2 semanas y a 3 meses.

Tabla 12.

Resultados a las 2 semanas y a 3 meses

Àrea de Prestamo	Muestra	Metodo Quìmico – ASTM C289	Mortar Bar Method ASTM C1260	Metodo ASTM C227	
				a 2 semanas	a 3 semanas
AREA BOCATOMA	C01		-	-	-
	C02		-	-	-
	C03	Limite potencial nocivo - inocuo	0.8	-	-
	C04	Limite potencial nocivo - inocuo	-	0.01	0.02
	C05		-	-	-
	C06	inocuo	0.22	-	-
	C07		-	-	-
	C08		-	-	-
	C09	inocuo	-	0.01	0.01

Área de préstamo Casa de Maquinas

Ensayos de clasificación del agregado

De las ocho calicatas que fueron ejecutadas, se ensayó el total de muestras obtenidas para determinar las propiedades y calidad de los agregados, se indica que la humedad varía entrehúmeda a muy húmeda. Los resultados del análisis SUCS y granulométrico por tamices indican que son principalmente una GRAVAS ARENOSAS (GP) Y ARENAS (SP), son suelos granulares con porcentajes de finos comprendidos entre 5.23 a 11.81%, el porcentaje de finos debe ser menor al 5% para ser considerado optimo, en su totalidad la plasticidad esnula.

Los resultados de peso específico de sólidos son buenos, variando entre 2.682 y 2.709.

Ensayos especiales

El módulo de fineza varia de 1.956 a 2.546, indica que hay cierta deficiencia en el contenidode arenas medias, esta situación se remedia haciendo ajustes al diseño en lo que respecta al contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Se indica que valores de módulo de fineza 2.5 a 3.0 son óptimos para agregado fino.

Los valores de la Gravedad Específica Bulk s.s.s. son mayores que 2.650 para el agregado grueso (valores de 2.637 a 2.729) y menores que 2.650 para el agregado fino (valores de 2.616 a 2.640), siendo 2.650 el valor mínimo aceptable según la norma. La absorción en todoslos casos es menor que el 1%, una absorción elevada demanda utilizar mayor volumen de agua en el diseño. Los resultados indican que son agregados de regular a buen peso y con escasa absorción.

Los resultados obtenidos en los ensayos de Durabilidad Método del sulfato de magnesio sonmenores del 4.93% (calicata PCM-23) para el agregado grueso y 4.86% (calicata PCM-22) para el agregado fino, para este ensayo la norma considera 10 % máximo para los agregadosgruesos y 15 % máximo para los agregados finos, por consiguiente, se encuentran dentro del rango aceptable, la pérdida de peso en los agregados es media a baja. En los ensayos de abrasión Máquina de los Ángeles, se obtuvieron valores entre 15.8 y 18.2% para el total del agregado, la norma ACI y Reglamento Nacional de Construcciones recomienda que el valormáximo aceptado es de 40 %.

Los resultados obtenidos en los ensayos químicos:

- **S.S.T.** de 225.5 a 900 p.p.m. La norma indica que son permisibles valores de hasta5,000 p.p.m.
- **Cl** de 62.43 a 250.05 p.p.m., valores se encuentran dentro de los rangos permisibles yaque se aceptan hasta 3,000 p.p.m.
- **SO+** de 50.29 hasta 199.94 p.p.m., son bajos, ya que se aceptan valores de hasta 1,000p.p.m.

Se hace **mención** de la existencia de un mayor porcentaje de grava que supera las 3" y quevisualmente se observa en todas las calicatas ejecutadas

Tabla 13.

Resultado ensayos SUCS, Pe, M.F., Material más fino que tamiz 200, Ge y Absorción del agregado

					Peso especifico solidos	Modulo de fineza	Material mas fino que el tamiz N° 200	Gravedad Especifica y absorcion agregado grueso				Gravedad Especifica y absorción agregado fino			
DESIGNACION		MUESTRA	TRAMO	SUCS	P.e	M.F.	%	Grav. Espec. Aparente	Grav. Espec. Bulk s.s.s.	Grav.Espec.Bulk	Absorcion	Grav. Espec. Aparente	Grav. Espec. Bulk s.s.s.	Grav.Espec.Bulk	Absorcion %
C20	PCM-C20	M-1	0.00 - 0.90	GP		2.268	8.94								
C21	PCM-C21	M-1	0.00 - 2.50	SP	2.703	2.488	5.32	2.707	2.663	2.637	0.98	2.654	2.625	2.604	0.72
C22	PCM-C22	M-1	0.00 - 2.20	GP	2.692	2.546	5.23	2.739	2.714	2.699	0.54	2.646	2.622	2.602	0.63
C23	PCM-C23	M-1	0.00 - 2.40	SP	2.709	2.487	6.48	2.676	2.637	2.613	0.90	2.670	2.637	2.605	0.93
C24	PCM-C24	M-1	0.00 - 1.60	SP	2.692	1.956	5.53	2.745	2.718	2.703	0.56	2.670	2.640	2.62	0.72
C25	PCM-C25	M-1	0.00 - 1.60	SP	2.682	2.218	7.00	2.734	2.721	2.714	0.28	2.663	2.643	2.614	0.70
C26	PCM-C26	M-1	0.00 - 2.30	SP-SM	2.688	2.015	11.81	2.736	2.712	2.698	0.52	2.639	2.631	2.612	0.38
C27	PCM-C27	M-1	0.00 - 2.30	SP	2.689	2.147	5.89	2.772	2.729	2.705	0.88	2.655	2.616	2.590	0.94

Tabla 14.

Resultado ensayos de Durabilidad, Abrasión, Impurezas orgánicas y análisis químicos

				Durabilidad agregado grueso	Durabilidad agregado fino	Abrasion Los Angeles	Impurezas organicas agreg. Fino	ANALISISQUIMICOS		
DESIGNACION		MUESTRA	TRAMO	Perdida Corregida %	Perdida Corregida %	Porcentaje de desgaste	M.O. %	S.S.T p.p.m.	Cl p.p.m.	SO4 p.p.m.
C20	PCM-C20	M-1	0.00 - 0.90	2.96			N.P			
C21	PCM-C21	M-1	0.00 - 2.50	4.15	4.80	17.30	N.P	900.00	250.05	199.94
C22	PCM-C22	M-1	0.00 - 2.20	3.36	4.86	15.80	N.P	227.00	60.45	53.73
C23	PCM-C23	M-1	0.00 - 2.40	4.93	3.61	18.20	N.P	455.00	131.85	102.48
C24	PCM-C24	M-1	0.00 - 1.60	4.42	3.76	17.70	N.P	450.00	128.10	101.36
C25	PCM-C25	M-1	0.00 - 1.60	4.48	2.89	17.90	N.P	225.00	62.43	50.68
C26	PCM-C26	M-1	0.00 - 2.30	3.97	2.53	16.80	N.P	226.50	65.15	51.26
C27	PCM-C27	M-1	0.00 - 2.30	4.03	4.21	17.30	N.P	225.50	63.09	50.29

Ensayos reacción Álcali

Para análisis del potencial de reactividad alcalina, álcali cemento químico y álcali cemento bloque de mortero, en el área de préstamo Casa de máquinas se seleccionaron muestras de las calicatas PCM-C21, PCM-C22, PCM-C25 y PCM-C26, las pruebas programadas fueron realizadas según las Normas ASTM relacionadas seguidamente:

a) Método de Ensayo Estándar para Reactividad potencial Álcali-Sílice de Agregados(Método Químico) – ASTM C289.

Este método de ensayo cubre la determinación de la reactividad potencial de un agregado con álcalis en concreto de cemento portland, la cual está

indicada por la cantidad de reacción durante 24 h a 80ºC entre una solución de hidróxido de sodio 1 N y agregado, previamente triturado y cernido para pasar por un tamiz de 300-µm y ser retenido por uno de 150-µm. El análisis de los resultados empleamos el Abaco incluido en la Norma (C289-Pag 7), que cataloga los agregados entre perjudiciales e inocuos con base al ensayo de reducción de la alcalinidad. Para el caso de los ensayos en el sector Casa de máquinas, las cuatro muestras de calicatas PCM-C21, PCM-C22, PCM-C25 se ubican en rangos de agregados considerados perjudicial (nocivo).

b) Método de Ensayo Estándar para Reactividad potencial Álcali Cemento-Agregado Bloque) - ASTM C1260. Estos ensayos fueron programados en dos muestras de las calicatas PCM-C21 y PCM-C25, los resultados se encuentran entre valores 0.80 a 1.02.

c) Método de Ensayo Estándar para Reactividad potencial Álcali-Física Cemento-Agregado Bloque) - ASTM C227. Estos ensayos se vienen realizando con las muestras de las calicatas PCM-C22 y PCM-C26, en el siguiente cuadro se muestran los resultados a las 2semanas y a 3 meses.

Tabla 15.

Resultados a las 2 semanas y a 3 meses.

Àrea de Prestamo	Calicata	Metodo Quìmico – ASTM C289	Mortar Bar Method ASTMC1260	Metodo ASTM C227	
				a 2 semanas	a 3 semanas
CAMPAMENTO	C34	Potencialmente nocivo	0.66	-	-
	C35	-	-	-	-
	C36	-	-	-	-
	C37	Potencialmente nocivo	-	0.01	0.02
	C38	-	-	-	-
	C39	-	-	-	-
	C30	Nocivo	0.92	-	-
	C31	-	-	-	-
	C32	Nocivo	-	0.01	0.02
	C33	-	-	-	-

Ensayos en laboratorio de rocas

Durante el desarrollo de los trabajos se obtuvieron muestras representativas de cada una de las perforaciones ejecutadas, para ejecutar ensayos de mecánica de rocas con la finalidad de determinar sus propiedades geomecánicas.

La totalidad de las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Nacional de Ingenieria, para la ejecución de los siguientes ensayos que fueronsolicitados en los términos de referencia:

- Determinación de las propiedades físicas (ASTM C97 – 02)
- Resistencia a la Compresión Simple (ASTM D2938)
- Medición de propiedades elásticas (ASTM D7012)

- Corte Directo (ASTM D5607)
- Triaxial (ASTM D2664)
- Resistencia a la tracción (ASTM D3967)
- Resistencia a la Carga Puntual (ASTM D5731 – 95)

Adicionalmente, con la finalidad de investigar las condiciones de abrasividad y dureza de las rocas involucradas con el empleo de Tuneladoras (TBM) se vienen realizando los ensayos Cerchar y de Resistencia a la Perforación DRI (Drilling Rate Index), A partir del D.R.I. se obtiene el Bit Wear Index (B.W.I.) que se utiliza para estimar la vida de las herramientas de perforación, así como también permite obtener los índices de fragilidad y desgaste. Los ensayos Cerchar y DRI, siguiendo las siguientes Normas técnicas: Abrasividad Cerchar (Método CSM 1987 y NF P94-430-1:2000).

Resistencia a la Perforación DRI (Método IT5459), que incluye la determinación de losíndices de desgaste y fragilidad (Método NTU).

Ensayos de identificación y clasificación

Determinación de las propiedades físicas

Los ensayos se ejecutan según lo indicado en la norma ASTM C97 - 02 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone. Los cuadros siguientes detallan las perforaciones, litología y profundidad ensayada.

Tabla 16.

Relación de ensayos programados para determinación de las propiedades físicas en testigos de perforación y calicatas

Ubicación	Perf. Calicata	Profundidad (m)	Litologia	Densidad Seca (gr/cm³)	Densidad Humeda (gr/cm³)	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso específico Aparente KN/m³
BOCATOMA	P1	4.25 - 4.45	Arenisca	2.65	2.66	1.20	0.45	26.07
		13.13 - 13.38	Limolita	2.50	2.54	3.56	1.42	24.77
				2.41	2.46	4.36	1.81	23.94
	P2	16.15 - 16.50	Arenisca	2.62	2.64	1.65	0.63	25.80
		18.25 - 18.50	Lutita carbonosa	2.46	2.48	2.49	1.01	24.30
DESARENADOR	P3	6.85 - 7.03	Arenisca	2.52	2.56	4.31	1.71	24.85
		9.60 - 9.82	Arenisca	2.54	2.57	2.41	0.95	25.06
TUNELDE CONDUCCION	P4	34.65 - 35.10	Arenisca	2.61	2.62	1.69	0.65	25.66
		37.20 - 37.53	Arenisca	2.56	2.58	2.22	0.87	25.26
		15.42 - 15.74	Arenisca	2.56	2.58	2.72	1.06	25.19
		29.20 - 29.50	Arenisca	2.72	2.74	1.21	0.44	26.79
	P7	69.80 - 70.25	Arenisca pizarrosa	2.62	2.63	1.15	0.44	25.82
		72.58 - 72.68	Arenisca pizarrosa	2.62	2.64	1.26	0.48	25.82
		83.08 - 83.20	Limolita pizarrosa	2.63	2.66	2.70	1.02	25.96
	P8	10.50 - 10.60	Limolita	2.51	2.58	7.17	2.86	24.99
		49.00 - 49.17	Limoarcilita	2.46	2.52	5.51	2.24	24.30
		63.60 - 63.75	Limoarcilita	2.53	2.57	4.54	1.80	24.91
	P9	43.20 - 43.38	Arenisca	2.50	2.51	1.18	0.47	24.59
		108.45 - 108.75	Arenisca	2.46	2.47	1.12	0.46	24.19
	P10	62.80 - 62.90	Granito	2.68	2.69	1.07	0.40	26.32
		89.30 - 89.43	Granito	2.67	2.68	0.77	0.29	26.29

	P12	9.70 - 9.95	Ortogneis	2.82	2.83	1.16	0.41	27.75
		30.25 - 30.37	Ortogneis	2.67	2.68	0.78	0.29	26.26
PIQUE	P13	23.35 - 23.55	Ortogneis	2.80	2.80	0.40	0.14	27.44
		60.20 - 60.45	Ortogneis	2.84	2.84	0.37	0.13	27.84
		93.70 - 93.90	Ortogneis	2.79	2.81	2.19	0.79	27.49
		119.82 - 120.00	Ortogneis	2.82	2.85	2.39	0.85	27.77
CASA DE MAQUINAS	P14	7.40 - 7.54	Esquisto micaceo	2.73	2.73	0.64	0.23	26.76
	P15	10.00 - 10.17	Esquisto micaceo	2.72	2.75	3.58	1.32	26.79
	P21	6.65 - 6.76	Esquisto micaceo	2.83	2.85	2.52	0.89	26.86
		17.40 - 18.00	Esquisto micaceo	2.83	2.84	1.36	0.48	27.78
	P22	17.00 - 17.10	Esquisto micaceo	2.84	2.86	1.25	0.46	27.96
PUENTE	P16	19.60 - 19.70	Esquisto micaceo	2.61	2.62	0.83	0.32	25.66
TUBERIA FORZADA	TF-C54		Microganito	2.71	2.72	1.08	0.40	24.64
	TF-C52		Microgranito	2.64	2.65	0.77	0.29	25.98
	TF-C54		Esquisto	2.67	2.68	1.05	0.39	26.22

En arenisca se tienen los siguientes valores: densidad seca entre 2.52 – 2.65 gr/cm^3, densidad saturada entre 2.56- 2.66 gr/cm^3, porosidad aparente entre 1.20 – 4.31 % y absorción entre 0.45 – 1.71 %. Para la arenisca pizarrosa: densidad seca entre 2.62 – 2.63 gr/cm^3, densidad saturada entre 2.63 – 2.66 gr/cm^3, porosidad aparente entre 1.15 – 2.70 % yabsorción entre 0.44 – 1.02 %.

En limolita - limoarcilitas se tienen los siguientes valores: densidad seca entre 2.41 – 2.53 gr/cm^3, densidad saturada entre 2.48 – 2.58 gr/cm^3, porosidad aparente entre 3.56 – 7.17 % y absorción entre 1.42 – 2.86 %. Para el granito

densidad seca entre 2.67 – 2.68 gr/cm^3, densidad saturada entre 2.68 – 2.69 gr/cm^3, porosidad aparente entre 0.77 – 1.07 % y absorción entre 0.29 – 0.40 %.

Para los metamórficos: ortogneis: densidad seca entre 2.67 – 2.84 gr/cm^3, densidad saturada entre 2.68 – 2.85 gr/cm^3, porosidad aparente entre 0.37 – 2.39 % y absorción entre 0.13 – 0.85 %. Finalmente, para los esquistos micáceos densidad seca entre 2.61 – 2.84 gr/cm^3,densidad saturada entre 2.62 – 2.86 gr/cm^3, porosidad aparente entre 0.64 – 3.58 % y absorción entre 0.23 – 1.32 %.

Ensayos de Resistencia – Deformación

Resistencia a la compresión Uniaxial

Se programó ensayos de resistencia a la compresión simple y/o Resistencia a la compresión uniaxial en muestras de perforación y 1 ensayo en una muestra que ha sido obtenida en el alineamiento de la tubería forzada. Los ensayos se ejecutan según lo indicado en la norma ASTM D2938-95(2002) Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens. En el cuadro siguiente se relaciona la totalidad de muestras ensayadas.

Tabla 17.

Resistencia a la compresión Uniaxial en muestras de perforación

UBICACIÓN	PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD (M)	LITOLOGÍA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓNUNIAXIAL	
				(kg/cm²)	Mpa
BOCATOMA	P1	3.85 – 4.15	Arenisca	2001	204
		16.92 – 17.17	Arenisca	2614	256.3
		18.60 – 18.85	Arenisca	2493	2444
DE SARENADOR	P3	9.10 – 9.35	Arenisca	794	77.8
		9.60 – 9.82	Arenisca	446	43.8
TUNEL DE CONDUCCION	P4	38.15 – 38.67	Arenisca	2172	212.9
	P7	72.95 – 73.33	Arenisca pizarrosa	476	46.7
	P8	36.90 – 37.35	Limoarcillita	65	6.4
		64.10 – 64.45	Limoarcillita	350	34.3
		62.10 – 62.35	Limoarcillita	336	32.9
	P9	72.10 – 72.50	Arenisca	651	63.8
		90.35 – 90.75	Arenisca	1384	135.7
		115.00 – 115.20	Limolita	254	24.9
	P10	82.55 – 82.90	Granito	1161	113.8
		89.40 – 98.70	Granito	1157	113.4
		97.70 – 97.95	Granito	1266	124.1
	P12	18.20 – 18.50	Ortogneis	470	46
		29.60 – 30.10	Ortogneis	561	55
PIQUE	P13	22.70 – 23.10	Ortogneis	816	80
		63.35 – 63.75	Ortogneis	717	70.3
		90.30 – 90.55	Ortogneis	304	29.8
		117.65 – 117.90	Ortogneis	325	31.9
CASA DE MAQUINAS	P14	10.65 – 11.20	Esquisto micáceo	292	28.7
	P15	8.20 – 8.70	Esquisto micáceo	157	15.4
	P21	15.00 – 15.24	Esquisto micáceo	501	49.1
	P22	16.50 – 16.72	Esquisto micáceo	219	21.5
TUB. FORZADA	TF-C54+12m		Esquisto micáceo	763	74.8

Determinación de las propiedades elásticas

Los ensayos se ejecutan según lo indicado en la Norma ASTM D7012 – 10, Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens underVarying States of Stress and Temperatures.

Para las areniscas los valores promedio son 137 Mpa, módulo de Young 20 y 0.28 para la relación de poisson. En limolita - limoarcillita areniscas 20 Mpa, módulo de Young 4.1 y 0.34para la relación de poisson. Los granitos 127 Mpa, módulo de Young 20 y 0.27 para la relación de poisson. En ortogneis 68 Mpa, módulo de Young 12 y 0.30 para la relación de poisson, y finalmente en esquistos micáceos 33 Mpa, módulo de Young 10 y 0.29 para la relación de poisson,

Tabla 18.

Propiedades Elásticas

Ubicación	Perf.	Profundidad (m)	Litología	Resistencia Comprensiva (Mpa)	Módulo de Young (E) Gpa	Rotación de Poisson (u)
BOCATOMA	P1	3.85 – 4.15	Arenisca	127.00	17.37	0.27
DE SARENADOR	P3	9.10 – 9.35	Arenisca	143.80	22.27	0.28
TUNEL DE CONDUCCION	P4	38.15 – 38.67	Arenisca	244.30	37.21	0.26
	P7	72.95 – 73.33	Arenisca pizarrosa	98.60	11.06	0.29
	P8	36.90 – 37.35	Limoarcilita	10.10	2.13	0.35
	P9	72.10 – 72.50	Arenisca	71.40	7.12	0.30
		90.00 – 90.65	Arenisca	99.10	13.81	0.29
		113.25 – 115.20	Limolita	30.00	6.17	0.32
	P10	82.55 – 82.90	Granito	105.00	18.34	0.28
		89.40 – 89.70	Granito	149.50	21.81	0.26
	P12	18.20 – 18.50	Ortogneis	60.60	14.43	0.29
		29.60 – 30.10	Ortogneis	96.40	20.91	0.27
		22.70 – 23.10	Ortogneis	125.40	15.27	0.28
		63.35 – 63.75	Ortogneis	73.50	8.54	0.29

PIQUE	P13	90.30 – 90.55	Ortogneis	24.20	4.55	0.33
		117.65 – 117.90	Ortogneis	35.10	7.89	0.31
CASA DE MAQUINAS	P15	8.20 – 8.70	Esquisto micaceo	22.40	10.70	0.29
	P21	15.00 – 15.24	Esquisto micaceo	43.60	12.37	0.29
	P22	16.50 – 16.72	Esquisto micaceo	33.70	8.00	0.30

Carga Puntual

Los ensayos de carga puntual en muestras de perforación se vienen realizando según lo indicado en la norma ASTM D5731 - 95 Standard Test Method for Determination of the PointLoad Strength Index of Rock. El cuadro siguiente muestra los ensayos que han sido programados con las muestras de cada una de las perforaciones.

Tabla 19.

Resultado de ensayos de carga puntual

Ubicación	Perf.	Profundidad (m)	Litología	Indice de carga puntual $Is_{(50)}$ Mpa	Resistencia a lacompresión simple (MPa)	Obs.
	P1	13.13 – 13.38	Limolita	1.94	49.70	Irregular
BOCATOMA		14.40 – 14.55	Limolita	2.47	56.00	Irregular
	P2	16.15 – 16.50	Arenisca	4.60	115.20	Diametral
		18.25 – 18.50	Lutita carbonosa	2.60	56.30	Irregular
DESARENADOR	**P3**	19.00 – 19.40	Arenisca	5.34	133.70	Diametral
TUNEL DE	**P4**	37.20 – 37.53	Arenisca	5.33	133.40	Diametral
		19.45 – 19.80	Arenisca	86.09	202.47	Axial
	P5	9.15 – 9.45	Limolita	1.89	43.80	Irregular
		47.40 – 47.70	Arenisca	2.62	65.60	Diametral
		49.60 – 50.00	Arenisca	4.30	107.60	Diametral
	P7	69.80 – 70.25	Arenisca pizarrosa	5.29	132.30	Diametral

CONDUCCION		104.67 – 104.90	Arenisca pizarrosa	6.32	144.60	Irregular
	P8	18.00 – 18.36	Limolita	0.61	15.30	Diametral
		37.50 – 37.72	Limoarcilita	0.79	19.90	Diametral
		92.40 – 92.64	Arenisca	2.91	72.70	Diametral
	P9	39.60 – 39.65	Arenisca	80.26	188.77	Axial
	P12	24.30 – 24.70	Ortogneis	6.92	173.20	Diametral
CASA DE MAQ,	**P15**	5.35 – 5.94	Esquisto micaceo	1.03	25.90	Diametral

Resistencia a la Tracción método Brasilero

Se ha programado la ejecución de 8 ensayos, los cuales son ejecutados bajo la Norma D5731 - 95 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index ofRock.

Tabla 20.

Resistencia a la tracción método brasilero

Ubicación	**Perf.**	**Profundidad(m)**	**Litología**	**Resistencia ala Tracción (MPa)**	**Resistencia ala Tracción (Kg/cm^2)**
TUNEL DE CONDUCCION	P4	38.67 – 39.14	Arenisca	5.2	53
	P7	61.97 – 62.33	Arenisca pizarrosa	5.2	53
		69.18 – 69.45	Arenisca pizarrosa	8.8	89
	P8	49.17 – 49.64	Limoarcilita	9.2	93
		66.50 – 66.86	Arenisca cuarcítica	4.6	47
PIQUE	P13	21.40 – 21.75	Ortogneis	14.4	147
		106.98 – 107.26	Ortogneis	5.2	58
		117.90 – 118.15	Ortogneis	5.6	57

Ensayo Triaxial

El ensayo se desarrolla según los criterios de la norma D5731 - 95 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of

Rock, empleando 03 es pecímenes por ensayo, en total se ha programado 8 ensayos triaxiales, según lo indicado que se muestra en elsiguiente cuadro.

Ensayos de Discontinuidades

Corte directo

Los ensayos se ejecutan según lo indicado en la Norma ASTM D5607 - 95 Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens UnderConstant Normal force.

Tabla 21.

Resultado de ensayos de corte directo

Ubicación	Perf.	Profundidad (m)	Litología	Angulo de fricción interna	Cohesión (c) MPa
BOCATOMA	P1	3.60 – 3.85	Arenisca	27.52	0.112
DESAENADOR	P4	34.65 – 35.10	Arenisca	27.67	0.114
TUNEL DE CONDUCCION	P5	15.42 – 15.74	Arenisca	27.83	0.098
		20.80 – 21.60	Arenisca	27.3	0.110
		29.20 – 29.50	Limolita	27.1	0.090
	P7	72.68 – 72.95	Arenisca pizarrosa	27.22	0.104
		104.20 – 104.67	Arenisca pizarrosa	27.56	0.114
	P8	42.30 – 42.68	Limoarcilita	27.71	0.111
		63.81 – 64.10	Limoarcilita	28.08	0.098
	P9	59.58 – 59.90	Arenisca	29.75	0.108
		96.90 – 97.30	Arenisca	27.52	0.106
	P10	60.70 – 61.00	Granito	27.39	0.111
		89.95 – 90.30	Granito	26.62	0.114
	P12	19.80 – 20.20	Ortogneis	32.01	0.101
		24.80 – 25.10	Ortogneis	27.05	0.103
		23.75 – 23.95	Ortogneis	26.86	0.101

PIQUE	P13	59.85 – 61.10	Ortogneis	26.91	0.097
		106.80 – 16.98	Ortogneis	27.08	0.108
		114.00 – 114.20	Ortogneis	27.19	0.106
CASA DE MAQUINAS	P21	16.85 – 17.10	Esquisto micaceo	28.06	0.115
PUENTE	P16	17.70 – 17.90	Esquisto micaceo	28.08	0.098

Ensayos de Abrasividad – Dureza

Los equipos de ensayo Cerchar permitirán conocer directamente la dureza y abrasividad de las rocas. Asimismo, a partir de la caracterización mediante lámina delgada del porcentaje de cuarzo de la muestra y otros minerales abrasivos, junto con el tamaño de grano y su resistencia a la tracción, obtenemos el índice Schimazek, de gran importancia para valorar el desgaste de los cabezales de los equipos de perforación y excavación.

Ensayos petrográficos

Los ensayos se realizaron en dos fases, ensayos macroscópicos y microscópicos en muestrasde roca de las perforaciones diamantinas ejecutadas y en 03 muestras obtenidas de calicatas en el alineamiento de la tubería forzada.

En la Primera fase se ejecutaron 17 ensayos. Para la segunda fase de ensayos, 8 muestras. Losresultados del análisis macroscópico y microscópico en lámina delgada se incluyen en el

ANEXO 6 – ENSAYOS PETROGRAFICOS

Tabla 22.

Resultados de los ensayos Petrográficos

Ubicación	Perforación	Prof. (m)	TIPO DE ROCA	TEXTURA
BOCATOMA	**P1**	4.25-4.45	Arenisca Calcárea	Grano sostenida
DESARENADOR	**P3**	6.85-7.03	Arenisca	Grano sostenida
TUNEL DE CONDUCCION	**P4**	38.15-38.67	Arenisca	Grano sostenida
	P5	17.50-17.59	Arenisca	Grano sostenida
		48.18-48.30	Arenisca	Grano sostenida
	P7	83.08-83.20	Arenisca	Matriz sostenida
		91.10-91.24	Limolita-Fillita	Foleada
	P8	10.50-10.60	Limolita-Fillita	Granoblástica
		49.00-49.17	Limolita-Fillita	Foleada
		95.46-95.60	Cuarcita	Granoblástica
	P9	42.20-42.28	Cuarcita	Granoblástica
		57.20-57.30	Limolita	Granular
		113.85-113.90	Limolita	Granular
	P10	62.80-62.90	Granito-débil Gneisificacion	Granoblástica
		89.30-89.43	Granito-débil Gneisificacion	Granoblástica
	P12	9.70-9.95	Ortogneis	Foleada
		30.25-30.37	Ortogneis	Foleada
PIQUE	**P13**	55.40-55.50	Esquisto micáceo	Foleada
		117.40-117.55	Esquisto micáceo	Foleada
	P14	7.40-7.54	Esquisto muscoviotico	Foleada

CASA DE MAQUINAS	**P15**	10.00-10.17	Esquisto muscoviotico	Foleada
PUENTE 1	**P16**	19.60-19.70	Esquisto muscoviotico	Foleada
CALICATAS TUBERIA FORZADA	**TF-C52**	Interior	Granito-débil Gneisificacion	Granoblástica
	TF-C54	Interior	Granodiorita	Granoblástica
	TF-C54+12m	A 12m de C54	Esquisto micáceo	Foleada

- Las muestras PF-03-P1 y PF-03-P7 se clasifican como areniscas calcáreas. Están constituidos principalmente por granos de cuarzos y en menor proporción por carbonatos y arcillas. Presentan textura granular fina.

Las muestras PF-01-P3, CS-01-P4, EP-01-P5 y EP-02-P5 se clasifican como areniscas. Están constituidos principalmente por granos de cuarzos, escasas plagioclasas, y poca proporción por carbonatos, arcillas y sericita. Presentan texturagranular fina.

- La muestra EP-03-P8 se clasifica como cuarcita. Están constituidos principalmente por granos de cuarzos y escasas arcillas. Presenta textura granular fina.
- Las muestras EP-02-P7, PF-01-P8 y PF-EP-02-P8 se clasifican como fillitas. Estánconstituidos principalmente por granos de cuarzos y en menor proporción por arcillas. Presentan texturas foliadas.
- Las muestras PF-EP-01-P10 y PF-EP-02-P10 se clasifican como granitos (débil gneisificación). Están constituidos principalmente por granos de cuarzos, plagioclasas, feldespato potásico (ortosa) y en menor proporción por cloritas, carbonatos y sericita. Presentan textura fanerítica gruesa con incipiente foliación.

- Las muestras PF-EP-01-P12 y PF-EP-02-P12 se clasifican como orto gneis. Están constituidos principalmente por granos de cuarzos, plagioclasas, feldespato potásico y en menor proporción por sericitas, cloritas y carbonatos. Presentan texturas foliadas.
- Las muestras PF-EP-01-P14, PF-EP-01-P15 y PF-EP-01-P16 se clasifican como esquistos muscovíticos. Están constituidos principalmente por granos de cuarzos, muscovita y escasos granates y sericita. Presentan texturas foliadas.

Ensayos en muestras de agua

Muestras de agua proveniente del rio LLuta - Siguas fueron evaluadas con la finalidad de ser empleadas para preparación de mezclas de concreto. El cuadro 9.a muestra la ubicación dondefueron tomadas las muestras.

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de aguas y suelos de la Universidad NacionalAgraria la Molina, los resultados indican que la totalidad de las muestras Obtenidas se encuentran dentro de los límites permisibles para ser empleadas en las mezclas yno son agresivos al concreto.

Tabla 23.

Ensayos en muestras de agua

Muestra Nro.	UBICACIÓN	Fecha del Muestreo	COORDENADAS		ANALISIS QUIMICO			Ph
			NORTE	ESTE	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	SST (mg/L)	
MA-1	Perforación P1	30/01/2019	8,226,982.00	817,812.00	1,404.00	108.89	380.46	7.26
MA-2	Perforación P2	30/01/2019	8,226,981.00	817,774.00	965	39.47	178.29	7.48
MA-3	Perforación P3	30/01/2019	8,226,930.00	817,775.00	952	36.75	245.99	7.56
MA-4	Filtración de agua, se tomó para la perforación	30/01/2019	8,227,292.00	817,856.00	857	36.75	224.16	7.31
MA-5	Calicata PLL-03 (Prestamo o Lluta)	31/01/2019	8,226,570.00	817,964.00	876	85.75	101.88	7.38
MA-6	Zona de Bocatoma Lluta	30/01/2019	8,227,001.00	817,804.00	767	92.56	101.01	7.46
MA-7	Casa de Maquinas Lluclla	24/01/2019	8,210,457.78	818,509.65	866	40.83	141.4	7.3
MA-8	Debajo Zona de Campamento	24/01/2019	8,208,547.99	816,646.13	655	53.09	239.49	7.04
MA-9	Calicata PC-C34 (Prestamos Campamento)	24/01/2019	8,208,427.00	816,523.00	645	47.64	241.67	7.01
MAXIMO PERMISIBLE					1,500.00	300	300	7 a 8

Perforaciones diamantinas Bocatoma

En el eje de la Bocatoma proyectada programó ejecutar 2 perforaciones diamantinas de 20.00 metros una, una en cada margen del rio Lluclla, el

principal objetivo fue determinar las características geotécnicas del subsuelo y profundidad del basamento rocoso.

Perforación P1

El sondeo diamantino fue ejecutado en la margen izquierda, vertical, se tienen las coordenadas 8´226,982 N, 817,812 E y 2,796 msnm, se alcanza la profundidad de 20.10m, el contacto con el basamento rocoso se alcanzó a los 3.20m**.**

El nivel freático en este sondaje diamantino es superficial, estabilizándose en 3.40m en el piezómetro instalado. Se ejecutaron 3 ensayos Lefranc a carga constante en rocas Sedimentarias muy fracturadas de la formación Gramadal, lutitas pizarrosas y areniscas muy fracturadas, poco resistentes que no permitieron ejecutar pruebas de permeabilidad a presión del tipo Lugeon.

La calidad de la roca es mala, con RMR promedio 30-40 (Clase IV), con muchos tramos que no presentan RQD, los resultados muestran valores de permeabilidad entre 1.87 y 4.49 E-03 cm/s, en el Cuadro 10.1.1.a, se indican los tramos en los cuales se realizaron los ensayos y los resultados obtenidos. La estratigrafía encontrada en el sondeo se indica a continuación:

0.00-2.20m: LIMO GRAVOSO LIGERAMENTE ARCILLOSO (ML), marón claro, plasticidad media, ligeramente húmedo, de consistencia firme. Gravas sub angulosas a sub redondeadas, de origen sedimentario (arenisca), tamaño máximo=3". Depósito aluvial. Gravas: 30%, arena: 10%, finos: 60%.

2.20-03.20m: ARENA MAL GRADADA (SP), marrón claro, ligeramente húmeda,medianamente denso. Depósito aluvial. Grava: 15%, arena: 75%, finos: 10%.

3.20-4.50m: ARENISCA, gris de grano fino. Fracturas Ligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos y calcita, de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y ligeramente fracturado, con venillas de calcita de 1mm de espesor.

4.50-7.70m: LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris oscuro, grano muy fino. Fracturas ligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan suaves. El macizo rocoso se encuentra triturado y descompuesto a suelo residual, por influencia de posibles procesos de metamorfismo.

7.70-11.25m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en areniscas y muy fino en limoarcillitas. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita y óxidos de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan suaves a ligeramente rugosas. El macizo rocoso se encuentra intensamente fracturado y moderadamente alterado.

11.25-11.85m: LIMOARCILITA PIZARROSA, gris oscuro, grano muy fino. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm). Las paredes de las discontinuidades se presentan suaves. El macizo rocoso se encuentra intensamente fracturado y moderadamente alterado.

11.85-12.70m: LIMOLITA, marrón claro, muy alterado, producto de la posible influencia defalla local.

12.70-20.10m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en areniscas y muy fino en limoarcillitas. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de

calcita y óxidos de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentra moderada a intensamente fracturado y ligera a moderadamente alterado.

Tabla 24.

Resultado de ensayos de permeabilidad P1

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	11.35-11.85	Lutita Pizarrosa	4.49 E-03
LEFRANC C. CTE.	2	17.00-17.50	Arenisca	1.87 E-03
LEFRANC C. CTE.	3	19.60-20.10	Arenisca	3.17 E-03

Perforación P2

El sondeo diamantino fue ejecutado en la margen derecha, posición vertical, en coordenadas8´226,981 N, 817,774 E y cota 2,797 msnm, alcanza la profundidad de 20.10m, el contacto con el basamento rocoso se alcanzó a los 7.45m.

El nivel freático en este sondaje diamantino es 8.70m, definido en el piezómetro instalado. En el basamento rocoso se ejecutaron 3 ensayos Lefranc con carga constante, cuyos resultados muestran valores de permeabilidad entre coeficientes 2.15 E-03 y 4.76 E-04 cm/s, típico de rocas fracturadas. La estratigrafía encontrada en el sondeo se indica a continuación:

0.00-2.20m: LIMO GRAVOSO LIGERAMENTE ARCILLOSO (ML), marón claro, plasticidad baja, ligeramente húmedo, de consistencia densa. Grava sub angulosa a sub redondeada, de origen sedimentario (arenisca), tamaño máximo=3". Depósito aluvial. Grava: 35%, arena: 5%, finos: 60%.

2.20-6.15m: GRAVA ARCILLOSA (GC), gris a gris verdoso, no plástica, ligeramente húmeda, muy denso. Depósito aluvial. Bolos (arenisca

arcósica), tamaño máximo= 6". Grava angulosa de origen sedimentario. Bolos: 10%, grava: 70%, finos: 20%.

6.15-7.45m: ARENA MAL GRADADA CON LIMO Y GRAVA (SP - SM), marrón claro, no plástica, ligeramente húmeda, medianamente densa. Depósito aluvial. Grava: 30%, arena: 60%, finos: 10%.

7.45-9.00m: LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris oscuro, grano muy fino. El macizorocoso se encuentra triturado, de alteración a suelo residual.

9.00-15.75m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en arenisca y muy fino en limoarcillita. Fracturas de paredes suaves asociados a zonas de cizallamiento, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita, óxidos e inclusiones puntuales de pirita, de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentramoderadamente alterado e intensamente fracturado.

15.75-17.45m: ARENISCA, gris, de grano fino. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos y calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado a muy fracturado, con venillas de calcita de 1mm de espesor.

17.45-20.10m: ARENISCA PIZARROSA, gris oscuro, de grano fino. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades son planas, ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado, con venillas puntuales de calcita de1mm de espesor.

Tabla 25.

Resultado de ensayos de permeabilidad P2

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	9.20-9.70	Arenisca	3.29 E-03
LEFRANC C. CTE.	2	14.35-15.00	Arcillita	4.76 E-04
LEFRANC C. CTE.	3	19.60-20.10	Arenisca	2.15 E-03

Desarenador

Perforación P3

Este sondeo diamantino fue ejecutado en coordenadas 8´226,930 N, 817,775 E, cota 2,795 msnm, alcanza la profundidad de 20.10m, el contacto se define en 6.85m, se ejecutan 3 ensayos de permeabilidad Lefranc, el nivel freático se establece en 4.10m, medido en el piezómetro instalado. Los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados muestran coeficientes de E-03 cm/seg, con valores entre 2.15 a 4.15 cm/s.

La estratigrafía de esta perforación se describe a continuación:

0.00-2.20m: LIMO GRAVOSO LIGERAMENTE ARCILLOSO (ML), marón claro, plasticidad baja, húmedo, de consistencia firme. Gravas sub angulosas, tamaño promedio =0.5". Depósito aluvial. Grava: 40%, finos: 60%

2.20-6.85m: GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA (GW-GM), gris a gris verdoso, no plástica, húmeda, muy densa. Depósito aluvial. Bolos (arenisca arcósica), tamaño máximo = 6"". Bolos de origen sedimentario (arenisca) e ígneo (brecha hidrotermal). Grava sub angulosa de origen sedimentario e intrusivo (arenisca y diorita). Depósito aluvial. Bolos: 25%, grava: 50%, arena: 15%: finos: 10%.

6.85-13.00m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y ARENISCA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm),relleno de calcita de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y fracturado, con venillas de calcita de 1mm de espesor.

13.00-16.90m: LIMOLITA, marrón oscuro, muy alterado y triturado, con estrías de plegamiento.

16.90-20.10m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en arenisca y muy fino en limo arcillita. Fracturas parcialmente abiertas(0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado, con venillas de 1mm de calcita.

Tabla 26.

Resultado de ensayos de permeabilidad P3

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	4.15-5.60	Grava arenosa en matriz arcillosa	4.15 E-05
LEFRANC C. CTE.	2	7.38-10.20	Arenisca	7.38 E-03
LEFRANC C. CTE.	3	2.54-20.00	Arenisca Limoarcillita	2.54 E-03

Túnel de Conducción

En el alineamiento donde se tiene proyectado construir el túnel de conducción,(perforaciones P4 al P12).

Perforación P4

La perforación se ejecutó llegando hasta la profundidad de 40.00m, se perfora en coordenadas 8´226,874 N, 817,760 E, posición vertical. Se perfora íntegramente endiámetro HQ, el contacto suelo – roca se define en 6.70m.

En esta perforación se ejecutó 3 pruebas de permeabilidad del tipo Lefranc, la prueba depermeabilidad ejecutada en roca arenisca muestra valores entre 2.42 a 4.91 E-05 cm/s, el nivel freático se define en 29.90 m de profundidad.

A continuación, se detalla la estratigrafía definida para este sondeo:

0.00-0.50m: LIMO GRAVOSO, LIGERAMENTE ARCILLOSO (ML), marón claro, plasticidad media, ligeramente húmedo, de consistencia firme. Gravas sub angulosas, deorigen sedimentario (arenisca), tamaño máximo =2.5". Depósito deluvial. Gravas: 35%,finos: 65% .

0.50-6.70m: GRAVA LIMOSA (GM), marrón claro. Gravas angulosas de origen sedimentario (arenisca). Tamaño máximo = 2.5", tamaño promedio=1". No plástica, ligeramente húmeda, muy densa. Depósito coluvio - deluvial. Grava: 60%, fInos: 40%.

6.70-11.25m: ARENISCA, gris, de grano fino. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm),relleno de óxidos (limonita) y calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado, con tramos puntuales muy fracturados. Se evidencia venillas de calcita de 1mm de espesor y delgados lentes delimolita pizarrosa en el macizo, así como leve diseminación en la matriz.

11.25-12.00m: LIMOLITA PIZARROSA, gris oscuro, grano muy fino. El macizo rocososе encuentra intensamente alterado e intensamente triturado.

12.00-20.85m: ARENISCA, gris, de grano fino. Fracturas parcialmente abiertas (0.1- 1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado. Se evidencia venillas de calcita de1mm de espesor y delgados lentes de limolita pizarrosa en el macizo, así como leve diseminación de calcita en la matriz. En el tramo de 19.85- 20.15m, se presenta zona de corte. En el tramo 16.65 a 17.75m se presenta una intercalación de la roca limolita, gris oscuro a negro, de baja resistencia.

20.85-25.00m: ARENISCA, gris, de grano fino. Con intercalaciones de limoarcillita en 20.85-21.15m y 23.15-23.35m, gris oscuro a negro, de baja resistencia. Fracturas parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, muy a intensamente fracturado. Se evidencia leve diseminación de calcita en la matriz.

En tramo de 20.85-20.90m se evidencia una zona de falla local.

25.00-40.00m: ARENISCA, gris, de grano fino. Con intercalaciones de limolita y limoarcillitaen 28.70-29.30, 33.00-33.35 y 33.60-34.00, gris oscuro a negro, de baja resistencia. Fracturasparcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado a muy fracturado,

con tramos puntuales ligeramente fracturados relacionado a roca tipo II. Se evidencia venillas de calcita de 1mm de espesor y delgados lentes de limolita pizarrosa en el macizo, así como leve diseminación en la matriz.

En tramo de 28.70 - 29.80m se evidencia intercalación de arenisca y limolita pizarrosa.

Tabla 27.

Resultados de los ensayos de permeabilidad P4

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	24.70-25.20	Arenisca	4.91 E-03
LEFRANC C. CTE.	2	34.60-35.10	Arenisca	2.80 E-03
LEFRANC C. CTE.	3	39.50-40.00	Arenisca	2.42 E-03

Perforación P5

La perforación llegó hasta la profundidad de 50.00m, se perfora en coordenadas 8´226,727 N, 817,571 E, posición vertical. En esta perforación se ejecutó solo una (1) prueba de permeabilidad del tipo Lefranc. Se perfora íntegramente en diámetro HQ, el contacto suelo – roca se define a los 6.70m de profundidad.

La prueba de permeabilidad ejecutada entre 40.50 – 41.10 m muestra valor de 1.10 E-05cm/s, el nivel freático se define en 15.50 m de profundidad.

La descripción geotécnica de campo se incluye a continuación:

0.00-3.45m: GRAVA LIMOSA (GM), marrón claro. Bolo de origen sedimentario, tamañomáximo 5.5"". Gravas sub angulosas a sub redondeadas de origen sedimentario (arenisca). Tamaño máximo = 2.8"", tamaño

promedio=0.5"". No plástica, seco, muy densa. Depósito aluvial. Bolos: 5%, grava: 55%, finos: 40%.

3.45-4.40m: LIMO CON GRAVA (ML), marrón claro, baja plasticidad, seco, muy rígida.Depósito aluvial. Grava: 25%, finos: 75%.

4.40-6.70m: GRAVA LIMOSA (GM), marrón oscuro. Gravas sub angulosas de origen sedimentario (limolita, arenisca). Tamaño máximo = 2.5", tamaño promedio=0.5". No plástica, seco, muy densa. Depósito aluvial. Grava: 60%, finos: 40%.

6.70-7.45m: ARENISCA, gris, de grano fino. Fracturas ligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra intensamente fracturado. Se evidencia venillas de calcita de 1mm de espesor.

7.45-10.05m: LIMOLITA PIZARROSA, gris oscuro, grano muy fino. Fracturas ligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan suaves y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentramuy fracturado y ligeramente alterado.

10.05-11.70m: LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris oscuro, grano muy fino. Fracturasligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita y óxidos puntuales de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan suaves y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra intensamente fracturado y ligeramente alterado.

11.70-15.30m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en arenisca y muy fino en limo arcillita. Fracturas de paredes suaves a ligeramente rugosas,

parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado. Presenta venillas de calcita de 1mm de espesor en areniscas.

15.30-16.80m: ARENISCA, gris, de grano fino. Fracturas ligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y fracturado. Se evidencia venillas de calcita de 1mm de espesor.

16.80-22.00m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en arenisca y muy fino en limo arcillita. Fracturas de paredes suaves a ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y muy fracturado. Presenta venillas de calcita de 1mm de espesor en areniscas.

22.00-31.10m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMOARCILLITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en arenisca y muy fino en limo arcillita. Fracturas de paredes suaves a ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura en areniscas. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado a muy alterado, e intensamente fracturado. Presenta venillas de calcita de 1mm de espesor en areniscas. De 27.40-27.65m se evidencia brecha tectónica, por influencia de posible zona de falla local en el tramo, cuyo ángulo con la Horizontal es aproximadamente 60°.

31.10-44.50m: LIMOARCILLITA PIZARROSA CON PEQUEÑAS INTERCALACIONES DE ARENISCA, gris oscuro, grano muy fino. Fracturas

de paredes suaves, muy alteradas a descompuestas. El macizo rocoso se encuentra desintegrado a grava y suelo limo-arcilla por influencia de la perforación y una falla local; en el tramo

37.40 a 41.10 m se observa espejos de falla, de color negro y aspecto lustroso.

44.50-47.40m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA Y LIMO ARCILLITA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino en arenisca y muy fino en limo arcillita. Fracturas de paredes suaves a ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado e intensamente fracturado. Presenta venillas de calcita de 1mm de espesor en areniscas. En este tramo se observa que los estratos de arenisca tienen un buzamiento que varía entre 30 a 35°.

47.40-50.00m: ARENISCA, gris, de grano fino. Fracturas ligeramente abiertas (0.1-1mm), relleno de calcita de consistencia dura. Las paredes de las discontinuidades se presentan ligeramente rugosas y ligeramente alteradas. El macizo rocoso se encuentra moderadamente fracturado. Se evidencia venillas de calcita de 1mm de espesor. La matriz presenta una leve diseminación de calcita. El ángulo del contacto estratificado es de 40° aproximadamente.

Tabla 28.

Resultado de ensayos de Permeabilidad P5

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	40.50-41.10	Arcillita	1.10 E-05

Perforación P7

Este sondeo diamantino fue ejecutado en posición vertical, en coordenadas 8´226,363 N, 817,606 E, alcanzando la profundidad de 110.40m (programado 100.00m), se perforaíntegramente en roca y en diámetro HQ. Se ejecutan 2 ensayos de permeabilidad Lefranc y 3 ensayos del tipo Lugeon, el nivel freático se establece en 26.50m. Los resultados de los ensayos de permeabilidad Lefranc ejecutados muestran valores de permeabilidad media a baja (1.40 E-04 y 5.58 E-05 cm/s) y permeabilidad baja en profundidad 0.21 a 0.48 U-L. (Coeficiente E-06 cm/s) entre 92.50 a 110.40m

La estratigrafía determinada se describe a continuación:

0.00-2.60m: ARCILLITA, marrón claro, grano muy fino. La alteración del macizo rocoso y el proceso de perforación han desintegrado la roca a un suelo arcilloso con fragmentos líticos.

2.60-4.30m: ARCILLITA, gris claro, grano muy fino. El macizo rocoso se encuentra intensamente alterado y triturado.

4.30-4.80m: ARCILLITA, gris claro, grano muy fino. El macizo rocoso se encuentra alterado y muy fracturado.

4.80-5.95m: LIMOARCILLITA, marrón claro, grano muy fino. El macizo rocoso se encuentra alterado e intensamente fracturado.

5.95-6.80m: ARENISCA CUARCÍTICA, gris claro con tonos amarillentos, grano fino. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado

6.80-8.15m: ARCILLITA, gris, grano muy fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y muy fracturado.

8.15-11.20m: ARENISCA CUARCÍTICA, gris claro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos puntuales de óxidos (limonita) y calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado.

11.20-17.10m: ARENISCA CUARCÍTICA, gris claro, grano fino, con intercalaciones de limo arcillita de color marrón y gris oscuro. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado, con moderada oxidación en lamatriz.

17.10-26.70m: ARENISCA PIZARROSA CON INTERCALACIÓN DE LIMOARCILLITAS, gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos suaves (limonita, arcilla). El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado e intensamente fracturado, producto de zona de falla. El tramo se presenta brechado, con milonita de arenisca y limolita pizarrosa, lo que indicaría la presencia de una falla geológica a través delos estratos. En el tramo 18.60-18.90m se observa estrato de arenisca con buzamiento de 60°.

26.70-36.00m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA PIZARROSA Y LIMOARCILLITAS PIZARROSAS, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, ligeramente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos de óxidos (limonita) ycalcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y muy fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1 a 2mm de espesor. Las intercalaciones de limo arcillitas pizarrosas se encuentran en tramos de, 29.15-29.25m, 31.40-31.53m, 33.15- 33.45m.

36.00-59.70m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA PIZARROSA Y LIMOARCILLITAS PIZARROSAS, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes suaves a ligeramente rugosas, ligera a moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos de calcita. El macizo rocoso se encuentra moderado a muy alterado, intensamente fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1 mm de espesor. Las intercalaciones de limo arcillitas pizarrosas se encuentran en tramos de 36.90-37.20m, 37.70-38.00m, 47.50-49.10, 49.80-50.95m, 51.80-54.20m, 55.75-56.35m, 58.15-60.05m.

59.70-62.55m: ARENISCA PIZARROSA, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, ligera alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos de calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado a muy fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1 mm de espesor.

62.55-67.35m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA PIZARROSA Y LIMOARCILLITAS PIZARROSAS, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos de calcita y carbón. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado e intensamente fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1 mm de espesor. Las intercalaciones de limo arcillitas pizarrosas se encuentran en tramos 62.55-63.90m, 66.20-66.75m.

67.35-73.40m: ARENISCA PIZARROSA, gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes suaves a ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos de calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y muy fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1-2 mm de espesor.

73.40-81.00m: INTERCALACIÓN DE ARENISCA PIZARROSA Y LIMOARCILLITAS PIZARROSAS, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos de calcita y carbón. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado, muy intensamente fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1 mm de espesor. Las intercalaciones de limo arcillitas pizarrosas se encuentran en tramos 73.40-76.30m, 78.10-79.60m.

81.00-110.40m LIMOARCILLITAS PIZARROSAS, gris oscuro, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), con rellenos carbón. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado, muy a intensamente fracturado, con presencia de venillas de calcita de 1-2mm de espesor. Desde 91.90-92.10m y de 104.30-105.35m, se evidencia tramo de arenisca gris y arenisca pizarrosa, con un ángulo de estratificación de 40°. En el tramo 104.30-105.35m, la roca arenisca pizarrosa presenta una estructura bandeada semejante a una textura gnéisica ondulada, lo que indica la influencia del metamorfismo local.

Tabla 29.

Resultado de ensayos de Permeabilidad P7

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K(cm/s)
LEF RANC C. CTE.	1	85.30-85.80	Arenisca		5.58 E-05
LEF RANC C. CTE.	2	88.10-88.60	Arcillita		1.40 E-04
LUGEON	1	92.50-96.30	Arenisca con lentes de carbón	0.48	6.24 E-06
LUGEON	2	97.00-101.50	Arenisca con lentes de carbón	0.21	2.74 E-06
LUGEON	3	105.00-110.40	Limolita y arcilita carbonosa	0.24	3.14 E-06

Perforación P8

Este sondeo diamantino alcanzo la profundidad de 100.00m, su posición fue vertical, en coordenadas 8´226,019 N, 817,561 E, fue perforado íntegramente en diámetro HQ, dondeel contacto suelo roca es superficial 0.80m.

Se ejecutan 03 ensayos de permeabilidad Lugeon, el nivel freático no fue alcanzado, los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados muestran coeficientes de permeabilidad E-06 a E-04 cm/s conforme se profundiza, con valores de 0.23 a 24.68Unidades Lugeon (UL).

La descripción visual de campo se incluye a continuación:

0.00-0.80m: GRAVA LIMOSA (GM), marrón claro. Gravas sub angulosas de origen sedimentario (limolita, arenisca). Tamaño promedio = 0.5". No plástica, seco, muy densa.Depósito deluvial. Grava: 65%, fInos: 35%

0.80-3.10m: ARENISCA CUARCÍTICA, gris blanquecino con tonos amarillentos, grano fino. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado, con moderada oxidación en la matriz.

3.10-9.20m: LIMO ARCILLITA, marrón a rojizo, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, muy alteradas. El macizo rocoso se encuentra muy alterado a intensamente alterado e intensamente fracturado, con un comportamiento de grava arcillosa.

9.20-15.30m: LIMOLITA, marrón a rojizo, grano muy fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), rellenos de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra ligera a moderadamente alterado y muyfracturado, con moderada oxidación en la matriz.

15.30-17.00m: LIMO ARCILLITA, marrón oscuro, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, muy alteradas, rellenos de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra intensamente alterado por influencia de falla local.

17.00-20.20m: LIMOLITA, marrón a rojizo, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), rellenos de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado, y fracturado. Zona de corte entramo de 19.25-19.70m, comportamiento de grava limo arcillosa.

20.20-26.30m: LIMO ARCILLITA, gris oscuro, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, muy alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), rellenos de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado y ligeramente fracturado. Presencia de espejos de falla en planos de estrato.

26.30-29.60m: LIMOLITA, marrón a rojizo, grano muy fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, ligeramente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), rellenos de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado y fracturado, con moderada oxidación en la matriz.

29.60-35.20m: LIMO ARCILLITA, marrón a rojizo, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra muy alterado y muy fracturado.

35.20-43.10m: INTERCALACIÓN DE LIMO ARCILLITA Y LIMOLITA, gris, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1- 1mm), relleno de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado a muy fracturado.

43.10-45.80m: LIMO ARCILLITA, gris, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, muy alteradas. El macizo rocoso se encuentra muy alterado, y fracturado, relacionado a una zonade falla.

45.80-49.70m: ARENISCA, gris claro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado, con moderada oxidaciónen la matriz.

49.70-51.90m: LIMO ARCILLITA, gris claro a verdoso, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas. El macizo rocoso se encuentra alterado a muy alterado, muy a intensamente fracturado, relacionado a una zona de falla. Se evidencia diseminación de pirita en la matriz.

51.90-53.60m: LIMOLITA, gris claro a verdoso, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), rellenos de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado y fracturado, con moderada oxidación en la matriz

53.60-60.40m: INTERCALACIÓN DE LIMOLITA Y LIMO ARCILLITA, marrón a rojizo, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita). El macizo rocoso seencuentra moderadamente alterado y fracturado.

60.40-62.10m: LIMOLITA, gris, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), rellenos puntuales de óxidos (limonita) y calcita. El macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado, y fracturado.

62.10-66.20m: ARENISCA CON PEQUEÑAS INTERCALACIONES DE LIMO ARCILLITA, gris, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita) y calcita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y ligeramente fracturado, con diseminación de pirita en la matriz en tramo de 65.70-66.20m, que pertenece a una arcillita pizarrosa.

66.20-76.70m: ARENISCA CUARCÍTICA, blanquecina con tonos amarillentos, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado e intensamente fracturado, con moderada oxidación en la matriz. En el tramo 68.50-69.80m, se evidencia un vacío, por posible zona de falla lavado por el aguade perforación.

76.70-82.00m: LIMO ARCILLITA, gris oscuro a negro, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, muy alteradas. El macizo rocoso se encuentra muy alterado, e intensamente fracturado, relacionado a zonas de corte y falla. La matriz presenta tramos dediseminación de pirita.

82.00-84.90m: ARENISCA, gris a gris oscuro, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos (limonita). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, intensamente a muy fracturado, con moderada oxidación en la matriz.

84.90-86.40m: ARENISCA, gris, grano fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de pirita. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y fracturado, con leve diseminación de pirita en la matriz.

86.40-91.20m: LIMO ARCILLITA, gris verdoso, grano muy fino. Fracturas de paredes suaves, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de pirita. Elmacizo rocoso se encuentra ligeramente alterado y ligeramente fracturado, con diseminación de pirita en la matriz.

91.20-100.00m: ARENISCA, gris a gris rojizo, grano fino. Fracturas de paredes ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, parcialmente abiertas (0.1-1mm), relleno de óxidos. El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, muy a intensamente fracturado.

Tabla 30.

Resultado de ensayos de Permeabilidad P8

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K(cm/s)
LUGEON	1	84.40-89.40	Arenisca	0.23	3.01 E-06
LUGEON	2	91.00-95.60	Arenisca	6.32	8.21 E-05
LUGEON	3	96.00-100.00	Arenisca	24.68	3.21 E-04

Perforación P9

Este sondeo diamantino fue programado en coordenadas 8´225,553 N, 817,561 E, alcanzando la profundidad de 125.40 metros (programado 100.00m inicialmente).

El sondeo fue perforado con algunos problemas por la mala calidad del macizo rocoso, roca completamente alterada (suelo residual hasta los 33.00m) que obligo a cementar algunos tramos y posteriormente se produjo el atrapamiento de la tubería, generando la pérdida del sondeo, y como consecuencia la pérdida de los elementos de perforación (tuberías y muestreador).

Este problema origino que se tenga que perforar un nuevo sondeo desde el inicio, alcanzando la profundidad de 125.40 m, se perfora hasta los 80.70 m con diámetro HQ,para finalmente concluir en NQ.

Se ejecutan 3 ensayos de permeabilidad Lugeon, el nivel freático no fue alcanzado, los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados muestran valores de permeabilidadmedia alta 12.6 a 15.6 U.L., 1.6 a 2.6 E-04 cm/s.

La descripción visual de campo se describe a continuación:

0.00-33.00m: SUELO RESIDUAL CON TRAMOS DE ROCA MUY ALTERADA, Color marrón rojizo por presencia de oxidaciones de fierro

producto de la alteración superficial, roca descompuesta no se observa la estructura de la roca original, apreciándose entre 1.50 a 520m y entre 14.50 a 25.40m tramos de arenisca muy alterada. La muestra se disgrega y se recupera como arena de granulometría gruesa a media color marrón rojizo evidente entre 5.20 a 10.00m, 11.50-12.30m, 25.40-26.50m y 31.00-33.00m.

33.00-51.80m: ARENISCA CUARCITICA, gris con tonalidades marrones rojizas por presencia de óxidos de fierro, discontinuidades abiertas 0.1 a 1.0mm algunas mayor a 1.0 mm, patinas de óxidos de fierro suaves y duros, rugosas, moderadamente alteradas.

Intensamente fracturada con tramos triturados, alterada, poco resistente a débil al procesode perforación.

51.80-59.20m: LIMO ARCILLITA, gris, levemente fracturada abundantes fracturas mecánicas, roca débil, alterada, fracturas abiertas 0.1 a 1.00mm, planas y con superficiessuaves, ligeramente alteradas.

59.20-71.60m: CUARCITA, marrón rojizo por presentarse muy alterada, poco resistente a débil, fracturas abiertas 0.1 a 5.00mm, presencia de óxidos de fierro, superficies ligeramente rugosas a rugosas, moderada alteración.

71.60-76.30m, ARENISCA, gris con tonalidades marrones rojizas por presencia de óxidosde fierro, discontinuidades abiertas 0.1 a 5.0 mm, patinas de óxidos de fierro, superficies ligeramente rugosas, moderadamente alteradas. Fracturada con tramos levemente e intensamente fracturados, muy alterada, poco débil al proceso de perforación. De 75.90- 76.00m Zona de falla, presencia de panizo.

76.30-77.70m: LIMO ARCILLITA, gris, levemente fracturada, alterada, débil, fracturas abiertas 0.1-1.0mm, ligeramente rugosas, rellenos blandos menores a 0.5mm, superficiesmoderadamente alteradas.

77.70-110.10m: ARENISCA, gris con tonalidades marrones rojizas por presencia de óxidos de fierro, discontinuidades abiertas 0.1 a 1.0mm en algunos casos mayor a 1.0 mm,patinas de óxidos de fierro en sus superficies de colores amarillo - rojizo, ligeramente rugosas, moderadamente alteradas. Intensamente fracturada con tramos muy fracturados, alterada, poco resistente a débil al proceso de perforación.

110.60-119.50m: LIMOLITA, gris a gris oscuro, estructura laminar, las discontinuidades son predominantemente en los planos de la estratificación. Levemente fracturado, alterado y poco resistente. Discontinuidades menores a 0.1 mm, suaves con poco o ningún relleno, inalterada.

119.90-125.40m: ARENISCA, gris con tonalidades marrones rojizas por presencia de óxidos de fierro, discontinuidades abiertas 0.1 a 1.0mm algunas mayor a 1.0 mm, patinas de óxidos de fierro suaves y duros, moderadamente rugosas, moderadamente alteradas. Intensamente fracturada con tramos triturados, alterada, poco resistente a débil al procesode perforación.

Tabla 31.

Resultado de ensayos de Permeabilidad P9

Nro.	FECHA	DE-A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K(cm/s)	FLUJO
1	15/01/2019	84.40-89.30	Arenisca	0.27	3.57 E-06	Relleno
2	20/01/2019	97.50-102.40	Arenisca	15.68	2.04 E-04	Erosión
3	23/01/2019	113.00-118.50	Limolita	12.66	1.65 E-04	Erosión

Perforación P10

La perforación se ejecutó llegando hasta la profundidad de 100.40m, se perfora en coordenadas 8´217,321 N, 818,654 E, posición vertical. Se perfora íntegramente endiámetro HQ, el contacto suelo – roca se define en 4.10m.

En esta perforación se ejecutaron 4 pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon, la prueba depermeabilidad ejecutada entre 77.40 – 82.40m no se logró absorción de agua por lo que se le asigna una permeabilidad menor a E-06 cm/s, las siguientes tres pruebas muestran valores de 0.25 a 0.26 U.L. y coeficientes 3.29 a 3.72 E-06 cm/s, presentando flujos predominantemente laminares con dilatación. A continuación, se detalla la estratigrafía definida para este sondeo:

0.00-1.50m: SUELO ELUVIAL, marrón claro, baja plasticidad, seco, firme. Gravas angulosas de origen sedimentario (areniscas).Tamaño promedio=0.5". Depósito aluvial.Grava: 10%, fInos90%.

1.50-4.10m: GRANITO, SUELO RESIDUAL, completamente alterado.

4.10-38.60m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, ligeramente rugosas, rellenos duros <5mm (limonita, epídota, clorita, anhidrita). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado a muy fracturado. En la matriz se evidencia epídota y clorita.

38.60-54.40m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas ligeramente abiertas (0.1-1mm), con tramos abiertos (>1mm), moderadamente alteradas, suaves a ligeramente rugosas, rellenos duros <5mm (epídota, clorita, anhidrita), blandos <5mm (arcilla, limonita). El macizo rocoso se encuentra alterado, muy fracturado a intensamente fracturado. Se evidencia zona de falla de 45.85-54.40m.

54.40-75.00m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, ligeramente rugosas, rellenos duros <5mm (limonita, epídota, clorita, anhidrita, arcilla). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, fracturado. Se evidencia dique andesítico en tramos de 58.35-58.45m, 66.25-66.44m.

75.00-75.80m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas abiertas (0.1-1mm), alteradas, ligeramente rugosas, rellenos blandos <5mm (limonita, epídota, clorita, anhidrita, arcilla). Macizo rocoso muy fracturado, alterado y poco resistente.

54.40-90.90m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, ligeramente rugosas, rellenos duros <5mm (limonita, epídota, clorita, anhidrita, arcilla). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado con tramos de roca alterada, fracturado con tramos levemente fracturados a masivos. Se evidencia dique andesítico en tramos de 58.35-58.45m, 66.25-66.44m. Zonas de corte en tramos: 70.50-70.70, 72.30-72.70 y 75.60-75.90 m.

90.90-95.90m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas abiertas (0.1-1mm), alteradas, ligeramente rugosas, rellenos blandos y duros <5mm (limonita, epídota, clorita,anhidrita, arcilla). Macizo rocoso intensamente fracturado a muy fracturado, alterado con tramos muy alterados y poco resistente.

95.90-100.40m: GRANITO, gris rosáceo, textura fanerítica. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, ligeramente rugosas, rellenos duros <5mm (limonita, epídota, arcilla). El macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado,fracturado.

Tabla 32.

Resultado de ensayos de Permeabilidad P10

TIPO	Nro.	DE-A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K(cm/s)
LUGEON	1	77.40-82.40	Granito		< E-06
LUGEON	2	85.90-90.90	Granito	0.29	3.72 E-06
LUGEON	3	91.30-96.30	Granito	0.25	3.29 E-06
LUGEON	4	95.00-100.40	Granito	0.26	3.32 E-06

Perforación P12

El sondeo diamantino fue ejecutado íntegramente en roca, vertical, en coordenadas 8´212,402 N, 819,046 E, se alcanza la profundidad de 31.20m (proyectado inicialmente30.00m. El nivel freático en este sondaje diamantino no fue alcanzado, se ejecutaron 2 ensayos Lugeon, obteniéndose valores de permeabilidad baja 1.52 a 0.17 U.L. (coeficientes E-05 y E-06 cm/s respectivamente).

A continuación, se detalla la estratigrafía definida para este sondeo:0.00-2.20m: Suelo residual.

2.20-18.20m: ORTOGNEIS, gris verdoso, textura lepidoblastica, estructura bandeada, fracturas abiertas con óxidos rellenando fracturas (0.1 a 1.0mm), paredes moderadamente alteradas, rellenos blandos y duros < 5mm. Fracturada con pequeños tramos intensamente fracturados, moderadamente alterada, resistente.

18.20m-31.20m: ORTOGNEIS, gris verdoso, textura lepidoblastica, estructura bandeada, fracturas abiertas con óxidos rellenando fracturas (0.1 a 1.0mm), paredes moderadamente alteradas, rellenos blandos y duros < 5mm.

Levemente Fracturada con pequeños tramos masivos, levemente alterada y tramos de moderada alteración, resistente.

Tabla 33.

Resultado de ensayos de Permeabilidad P12

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K(U.L.)	K(cm/s)
LUGEON	1	20.80 -25.80	Esquisto	1.52	1.97 E-05
LUGEON	2	26.20 -31.20	Esquisto - Gneis	0.17	2.16 E-06

Pique de presión

Perforación P13

El sondeo diamantino fue ejecutado en el sector donde se tiene proyectado construir el pique a presión, posición vertical, en las coordenadas 8´210,642 N, 818,377 E, se alcanza la profundidad de 120.00 m (perforación programada inicialmente 80.00 m), el contacto con el basamento rocoso se alcanzó a 1.50 m.

El nivel freático en este sondaje diamantino no fue alcanzado, ejecutándose únicamente un (1) ensayo Lefranc a carga constante en rocas gnéisicas muy fracturadas, el resultadomuestra valor de permeabilidad baja 3.16 E-05.

A continuación, se detalla la estratigrafía encontrada en este punto de sondeo:

0.00-1,50m: Suelo Deluvio coluvial, con fragmentos y bloques de hasta 0.50m,predominantemente de Gneis.

1.50-10.90m: ORTOGNEIS, color gris verdoso a marrón, grano fino a medio, de estructura bandeada, fracturas con relleno de patinas de óxido de

hierro, Muy fracturado a intensamente fracturado muy alterado, débil. Aberturas mayores a 5mm, superficies suavesy muy alteradas, rellenos blandos > a 5 mm.

10.90-21.20m: ORTOGNEIS, gris verdoso a marrón, de grano fino a medio, estructura bandeada, fracturas planas a onduladas con relleno de patinas de óxidos de fierro, muy fracturada, con tramos extremadamente fracturados, muy alterada, débil a poco resistente. Fracturas abiertas de 0.1-1.0mm, superficies suaves a ligeramente rugosas, rellenos blandos menores a 5mm.

21.20-31.55m: ORTOGNEIS, gris verdoso a marrón, de grano fino a medio, estructura bandeada, fracturas planas a onduladas con relleno de patinas de óxidos de fierro, fracturada a muy fracturada con tramos extremadamente fracturados, muy alterada, poco resistente. Fracturas abiertas de 0.1-1.0mm, superficies ligeramente rugosas de alteraciónmoderada, rellenos blandos y duros menores a 5mm.

31.55-37.70m: ORTOGNEIS, gris verdoso a marrón, de grano fino a medio, de estructura ligeramente bandeada, fracturas planas a onduladas, con patinas de óxido de fierro, intensamente fracturada a muy fracturada, alterada y poco resistente, Fracturas planas a onduladas con patinas de óxido de fierro, abiertas 0.1 a 1.0mm, rellenos blandos < a 5.0mm, superficies moderadamente alteradas.

37.70-52.20m: GNEIS ESQUISTOSO, gris verdoso a marrón, de grano fino a medio, fracturas ligeramente rugosas con patinas de óxido de fierro, abiertas 0.1 a 1.0mm, rellenos blandos < a 5.0mm, superficies moderadamente alteradas. Muy fracturado con tramos intensamente fracturados, alterada, poco resistente.

52.20-58.70m: GNEIS ESQUISTOSO, gris verdoso, fracturas planas a onduladas, ligeramente rugosas con patinas de óxidos de fierro, abiertas 0.1 a 1.0mm, rellenos blandos < a 5.0mm, superficies moderadamente alteradas. Muy fracturada, alterada y de resistenciadébil a poco resistente.

58.70-89.40m: GNEIS, gris verdosa estructura bandeada, fracturas planas a onduladas conpatinas de óxido de fierro, abiertas 0.1 a 1.0mm, rellenos blandos < a 5.0mm, superficies ligeramente alteradas. Muy fracturado, levemente alterada y poco resistente a resistente.

89.40-120.00m: GNEIS, negro a gris, textura foliada, estructura bandeada, compuesta por cuarzo, feldespato micas. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), paredes poco alteradas, suaves, rellenos blandos <5mm, los minerales brillantes son micas (muscovita). A los 94.10 a 99.60, posible zona de falla, compuesta por arcilla que engloba a las gravas angulosas a sub angulosas de hasta 1/4".

Desde 1.50 a 11.00m la calidad de la roca es mala con RMR promedio <30 (Clase IV), evidenciándose muchos tramos que no presentan RQD. De 11.00 a 57.20m la calidad de laroca es regular a mala (Clase III-IV) y desde 57.20 a 120.00m la calidad es predominantemente Regular (Clase III) con pequeños tramos de roca buena (Clase II) y roca mala (Clase IV).

Tabla 34.

Resultado del ensayo de permeabilidad P13

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	76.20 - 76.70	Gneis	3.16 E-05

Casa de Maquinas

Para investigar el sector donde se tiene proyectada la ubicación de la casa de máquinas, margen derecha del rio Siguas, se ejecutaron 7 perforaciones diamantinas que acumulan106.15m, en esta área inicialmente estaba programado ejecutar dos perforaciones de 30.00m cada una (perforaciones P14 y P15).

Para la caracterización del macizo rocoso, se proyectó ejecutar pruebas de permeabilidad y obtener muestras para ejecutar ensayos en laboratorio de mecánica de rocas. Las perforaciones P15, P20, P21, P23 y P24 fueron de posición inclinada.

Perforación P14

La perforación, llegó hasta la profundidad de 11.85m (programado inicialmente 30.00m), se perfora en coordenadas 8´210,457 N y 818,508 E de posición vertical. Fue ejecutado íntegramente en diámetro HQ, el contacto con el basamento rocoso se definió en 5.40m. En esta perforación se ejecutaron 2 pruebas de permeabilidad Lefranc. Las pruebas de permeabilidad muestran valores entre 1.04 y 8.16 E-03 cm/s. El nivel freático es superficialy se define en 0.85m de profundidad.

Se detalla la zonificación geomecánica para este sondeo diamantino hasta los 11.85 mperforados:

0.00-0.90m: ARENA LIMOSA (SM), marón claro, no plástica, húmeda, suelta. Arena conpresencia de carbonatos. Depósito aluvial. Arena: 60%, finos: 40%.

0.90-1.90m: ARENA MAL GRADADA CON LIMO Y GRAVA (SP-SM), marrón claro. Gravas sub angulosas, de origen metamórfico, tamaño

Promedio =0.5". No plástico, húmedo, medianamente denso. Depósito aluvial. Grava: 30%, arena: 60%, finos: 10%.

1.90-5.40m: GRAVA MAL GRADADA (GP), gris a gris verdoso. Bloques de tamaño máx. 14". Bolones de tamaño máximo 3.5". Gravas sub redondeadas de tamaño promedio 1". Son de origen metamórfico e ígneo (ortogneis, peridotita, granito). Húmedo, muy denso. Arena lavada por agua de la perforación. Depósito aluvial. Bloques: 30%, bolos: 10%, grava: 50%, arena: 10%.

5.40-11.85m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de feldespato y cuarzo. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, ligeramente rugosas, rellenos blandos <1mm (muscovita, clorita). Se evidencia fracturas paralelas al eje de la perforación. Presencia de vetas de cuarzo, en tramos de 7.60-8.95m y 9.30-10.30m.

Tabla 35.

Resultado de ensayos de permeabilidad P14

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	4.10 - 4.30	Arena con grava	1.04 E-03
LEFRANC C. CTE.	2	11.35 - 11.85	Grneis granitico	8.16 E-03

Perforación P15

Para investigación de la calidad del macizo rocoso, en el sector de la casa de máquinas se ejecutó el sondeo diamantino P15, orientación N 300° con inclinación -75°, el sondeo alcanzó la profundidad de 10.80m (programado inicialmente 30.00 m), fue ejecutado con diámetro HQ, en coordenadas

8´210,412 N, 818,495 E. El contacto con el basamento rocoso se identifica a los 2.90 m de profundidad, ejecutándose 1 ensayo de permeabilidad Lefranc y 1 ensayo Lugeon, las pruebas ejecutadas muestran permeabilidades altas en los primeros metros (roca gnéisica alterada) 7.20 E-02, mejorando en profundidad a valores de13.44 U.L. (1.75 E-04 cm/s).

A continuación, se detalla la zonificación geomecánica para esta perforación:

ARENA LIMOSA (SM), marón claro, no plástica, húmeda, suelta. Arena con presencia de carbonatos. Bolos de 8". Depósito aluvial. Bolos: 10%, arena: 60%, finos: 30%.

1.90-2.90m: GRAVA MAL GRADADA (GP), gris claro. Bolones de origen metamórfico e ígneo, tamaño Máximo =8". Gravas sub redondeadas, de origen metamórfico e ígneo (ortogneis, esquisto), Tamaño promedio=1.5". Húmeda, muy densa. Arena lavada por agua de la perforación. Depósito aluvial. Bolos: 40%, grava: 50%, arena: 10%.

2.90-10.80m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de feldespatos y cuarzo. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente rugosas, ligeramente alteradas, rellenos blandos <5mm (muscovita, clorita).

Tabla 36.

Resultado de ensayos de permeabilidad P15

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K(cm/s)
LEFRANCC. CTE.	1	4.30 - 4.70	Gneis alterado		7.20 E-02
LUGEON	1	5.80 - 10.80	Gneis	13.44	1.75 E-04

Perforación P20

Fue ejecutado en posición inclinada (-75°) con dirección N290°, en coordenadas 8´210,398 N, 818,486 E, se perfora alcanzando la profundidad de 12.50m (perforación adicional), se perfora íntegramente en roca y en diámetro HQ. Se ejecutan 2 ensayos de permeabilidad Lefranc a carga constante, el nivel freático se establece en 0.90m y el contacto con el basamento rocoso a los 6.20m. Los resultados de los ensayos ejecutados muestran valores de permeabilidad alta en suelo (3.55 E-03 cm/s) y permeabilidad media 4.41 E-04 cm/s enel basamento gnéisico.

La descripción visual de campo se describe a continuación:

0.00-1.70m: GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA (GW-GM), gris a gris verdoso. Gravas sub angulosas a sub redondeadas, de origen metamórfico (gneis, anfibolita), tamaño máximo =2.8". No plástica, húmeda, muy densa. Depósito aluvial. Bolos: 5%, grava:45%, arena: 40%, finos: 10%.

1.70-3.70m: ZONA DE BLOQUES de origen metamórfico (ortogneis), sedimentario(arenisca), tamaño: 60”. Depósito aluvial.

3.70-6.20m: ARENA LIMOSA CON GRAVA (SM), marrón claro. Gravas sub angulosas de origen metamórfico (ortogneis micáceo), tamaño máximo: 2". No plástica, húmeda, suelta. Depósito aluvial. Grava: 20%, arena: 50%, finos: 30%.

6.20-12.50m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de feldespato y cuarzo (0.5-1cm de espesor). Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), paredes muy alteradas, suaves, rellenos blandos <5mm, (muscovita,esmectita).

Tabla 37 .

Resultado de ensayos de permeabilidad P20

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	4.50 - 4.70	Arena con grava	3.55 E-03
LEFRANC C. CTE.	2	12.00 - 12.50	Gneis alterado	4.41 E-04

Perforación P21

Este sondeo diamantino fue ejecutado en coordenadas 8´210,402 N, 818,493 E, posición inclinada (-50°) con dirección N300°, alcanzando la profundidad de 20.60m (perforación adicional), se perfora íntegramente en roca y en diámetro HQ. Se ejecuta 1 ensayo del tipo Lugeon, el nivel freático al igual que el contacto con el basamento rocoso se establece en 2.00m. El resultado del ensayo de permeabilidad muestra valor de permeabilidad media a baja (5.59 U.L. equivalente a 7.27 E-05 cm/s).

La descripción visual de campo se describe a continuación:

0.00-2.00m: DEPÓSITO ANTRÓPICO (PLATAFORMA): conformado por grava y arenade la alteración de la roca gneis.

2.00-12.50m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, con estructura bandeada de feldespato y cuarzo (0.5-1cm de espesor). Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), moderadamente alteradas, suaves, rellenos blandos <5mm (muscovita,esmectita).

12.50-20.60m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de feldespato y cuarzo. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, paredes suaves, rellenos blandos <5mm (muscovita, esmectita, calcita, clorita).

Tabla 38.

Resultado de ensayos de permeabilidad P21

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (U.L.)	K(cm/s)
LUGEON	1	15.60 - 20.60	Gneis	5.59	7.27E-05

Perforación P22

La perforación se ejecuta hasta la profundidad de 21.05m, se perfora en coordenadas 8´210,420 N, 818,519 E, posición vertical. Se perfora íntegramente en diámetro HQ, el contacto suelo – roca se define a los 16.20m de profundidad y el nivel freático a 1.00m. En esta perforación no se ejecutan ensayos de permeabilidad.

La descripción visual de campo se describe a continuación:

0.00-16.20m: GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA (GW-GM): gris a gris verdoso. Bloques de origen metamórfico (granito), tamaño máximo=19". Bolones de origen metamórfico e intrusivo (ortogneis, granito), tamaño máximo =9". Grava sub redondeada de origen metamórfico (ortogneis), intrusivo (granito) y sedimentario, tamaño máximo =2.8", tamaño promedio =1. No plástico, húmedo, muy denso. Depósito aluvial. Bloques: 10%, bolos: 30%, grava: 30%, arena: 20%, finos: 10%.

16.20-21.05m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de feldespatos y cuarzo. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente alteradas, paredes suaves, rellenos blandos <5mm (muscovita, esmectita,calcita).

Perforación P23

Este sondeo diamantino fue ejecutado en posición inclinada -70° y dirección N300°, en coordenadas 8´210,422 N, 818,504 E, alcanza la

profundidad de 14.35m (perforación adicional), se perfora íntegramente en diámetro HQ, definiéndose el contacto suelo roca en 9.40m. Se ejecutan 2 ensayos de permeabilidad Lefranc, el nivel freático es superficialy se establece a 1.00m. Los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados muestran valores de permeabilidad alta (1.13 y 1.88 E-03 cm/s).

La descripción visual de campo se describe a continuación:

0.00-0.50m: ARENA LIMOSA (SM), marón claro, no plástica, húmeda, suelta. Arenacon presencia de carbonatos. Depósito aluvial. Arena: 60%, finos: 40%.

0.50-1.50m: GRAVA LIMOSA CON ARENA (GM), gris a gris verdosa. Gravas sub redondeadas de origen metamórfico (ortogneis), y sedimentario. Tamaño promedio=1". No plástica, húmeda, muy densa. Depósito aluvial. Grava: 45%, arena: 40%, fInos: 15%.

1.50-9.40m: GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA (GW-GM), gris a gris verdoso, no plástico, húmedo, muy denso. Bloques de origen metamórfico Tamaño máximo =24". Bolones de origen metamórfico e ígneo, Tamaño máximo =6". Grava subredondeada de origen metamórfico (ortogneis), tamaño máx.= 2.5"; tamaño promedio =1.5”. Depósito aluvial. Bloques 5%, bolos 30%, grava 35%, arena 20%, finos 10%.

9.40-14.35m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de feldespatos y cuarzo. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm),muy alteradas, suaves, rellenos blandos <5mm (muscovita, clorita, óxidos).

Tabla 39.

Resultado de ensayos de permeabilidad P23

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
RECUP. C. VAR.	1	6.00 - 6.50	Suelos Aluviales	1.88 E-03
RECUP. C. VAR.	2	13.85 - 14.35	Gneis	1.13 E-03

Perforación P24

Este sondeo diamantino fue ejecutado en coordenadas 8´210,400 N, 818,495 E, de en posición inclinada -75° y N300° de dirección, alcanza los 15.00m de profundidad (perforación adicional), se perfora en diámetro HQ y el contacto suelo roca se define en 9.30m. Se ejecuta un único ensayo de permeabilidad tipo Lefranc, el nivel freático se establece en 0.90m, y el resultado del ensayo de permeabilidad a carga variable es 5.63 E-03 cm/s (permeabilidad alta), definida mediante ensayo de recuperación ascendente.

La descripción visual de campo se describe a continuación:

0.00-1.00m: ARENA LIMOSA (SM), marón claro, no plástica, húmeda, suelta. Arenacon presencia de carbonatos. Depósito aluvial. Arena: 60%, finos: 40%.

1.00-9.30m: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO Y ARENA (GP-GM), gris a gris verdoso. Gravas de origen metamórfico (gneis), tamaño máx.=2". Bolones y bloques de origen ígneo (granito, granodiorita), tamaño máx.=20". Gravas sub redondeadas de origen metamórfico (gneis), ígnea (granito), tamaño máximo =2.8", tamaño promedio =1.5". No plástico, húmedo, muy denso. Depósito aluvial. Bloques: 10%, bolos: 30%, grava: 30%, arena: 20%, finos: 10%

9.30-15.00m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de cuarzo y feldespato. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), moderada a muy alteradas, paredes suaves, rellenos blandos <5mm (muscovita, clorita, óxidos), presencia de vetilla de cuarzo de 9.70-10m.

Tabla 40.

Resultado de ensayos de permeabilidad P24

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
RECUP. C. VAR.	1	14.50 - 15.00	Gneis	5.63 E-03

Puente

Perforación P16

La perforación ejecutada en la margen izquierda del rio Siguas para investigar el estribo izquierdo del sector donde se tiene proyectado construir un puente para acceder hacia lasobras de generación, en coordenadas 8´210,333 N, 815,552 E, en posición vertical.

La perforación se ejecuta hasta los 16.50m en suelos aluviales y los últimos 3.50m en roca gnéisica, el nivel freático se define a 1.50m, en esta perforación se ejecutaron 2 ensayos de permeabilidad tipo Lefranc, los resultados muestran permeabilidades muyaltas, típicas del tipo de material 2.47 y 4.25 E-02 cm/s.

A continuación, se la estratigrafía para este sondeo diamantino:

0.00-8.60m: GRAVA BIEN GRADADA (GW), gris a gris verdoso. Bolones (hasta de 12") y gravas sub angulosas a sub redondeadas, de origen metamórfico y sedimentario. Tamaño máximo de grava =2.8", tamaño

Promedio=1.5", húmedo, muy denso. Arena de grano grueso. Depósito aluvial. Bolos: 20%, grava: 60%, arena: 15%, finos: 5%.

8.60-16.50m: GRAVA MAL GRADADA (GP), gris a gris verdoso. Bolones y bloques de origen metamórfica, tamaño máx.=39". Gravas sub redondeadas de origen metamórfico y sedimentario, tamaño promedio =1.5". Húmeda, muy densa. Arena grano medio. Depósito aluvial. Bolos y bloques: 40%, grava: 30%, arena: 25%, finos: 5%.

16.50-20 m: ESQUISTO MICÁCEO, gris verdoso, textura lepidoblástica, estructura bandeada de cuarzo y feldespatos. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas (0.1-1mm), ligeramente rugosas, alteradas a ligeramente alteradas, relleno blando <5mm (muscovita,clorita).

Tabla 41.

Resultado de ensayos de permeabilidad P16

TIPO	Nro.	DE - A	LITOLOGIA	K (cm/s)
LEFRANC C. CTE.	1	6.00 - 6.40	Gravas y bolos	4.25 E-02
LEFRANC C. CTE.	2	14.50 - 15.00	Gravas y bolos	2.47 E-02

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

Las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso son favorables para el diseño y construcción la de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020.

La evaluación geotécnica consistió en definir los parámetros geotécnicos para el análisis de suelos y rocas, en suelos Los análisis fueron realizados en muestras disturbadas que fueron obtenidas durante la ejecución de las excavaciones, se clasificó según los resultados del material que se obtuvo. En

rocas se realizó ensayos de identificación y clasificación, determinación de las propiedades físicas, ensayos de compresión uniaxial y triaxial respectiva en el laboratorio de rocas, determinando la calidad del terreno, como resultado de las muestras del sondaje diamantino.

De acuerdo a los resultados de análisis de suelos y rocas, sirvieron para caracterizar geotécnicamente el suelo y roca con la finalidad de asegurar la estabilidad física del área de estudio. Se demuestra que se cumplió con la hipótesis planteada

4.3.2. Primera Hipótesis específica

a) Las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante de los suelos son favorables para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Altoy Bajo, 2020.

   Para determinar las propiedades estructurales del macizo rocoso, se realizó ensayos dediscontinuidades como corte directo, ensayos de abrasividad – dureza, ensayospetrográficos.

   Para determinar la resistencia, se realizó el análisis de las investigaciones geotécnicas del área del estudio a los resultados obtenidos de los ensayos de penetración standard (SPT) que es un ensayo de campo, se mide la resistencia a la penetración del terreno mediante lahinca dinámica de un sacamuestras que tiene una forma normalizada. Todos los resultados de estos análisis se encuentran detallados en los cuadros respectivos, para determinar las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante del área de estudio. Se demuestra que se cumplió con la hipótesis planteada.

4.3.3. Segunda Hipótesis específica

a) La caracterización de los perfiles lito estratigráficos ayudan al diseño y construcciónde la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020.

Para determinar los perfiles lito estratigráficos del área de estudio, se realizó 24 perforaciones cada uno con resultados de la estratigrafía determinada. Todos los resultados de estos análisis se encuentran detallados en los cuadros respectivos. Mediante los ensayos realizados se determinó las propiedades físicas en testigos de perforación y calicatas,se determinó, litología, densidad, peso específico. Se demuestra que se cumplió con la hipótesis especifica planteada.

4.3.4. Tercera Hipótesis específica

a) Las condiciones de permeabilidad del área de estudio son favorables para el diseño yconstrucción de la central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y bajo, 2020.

Para determinar las condiciones de permeabilidad del área de estudio, aprovechando los sondajes diamantinos, se realizó ensayos de permeabilidad de acuerdo a la litología, en suelos Lefrac y en rocas Lugeon dando resultados K(cm/s). Todos los resultados de estos análisis se encuentran detallados en los cuadros respectivos. Se demuestra que se cumpliócon la hipótesis especifica planteada.

4.4. Discusión de resultados

Discusión 1:

Mediante la investigación se realizó la evaluación geotécnica que consistió en definir los parámetros geotécnicos para el análisis de suelos y rocas, en suelos los análisis fueron realizados en muestras disturbadas que fueron obtenidas durante la ejecución de las excavaciones. En rocas se realizó ensayos de identificación y clasificación, determinación de las propiedades físicas, ensayos de compresión uniaxial y triaxial, determinando la calidad del terreno. Estos resultados de la caracterización geotécnica del área de estudio sirven para la construcción de la central Hidroeléctrica.

Discusión 2:

En el trabajo de investigación se analizó la caracterización de los perfiles lito estratigráficos que ayudan al diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica. Para determinar los perfiles lito estratigráficos del área de estudio, se realizó sondajes diamantinos cada uno con resultados de la estratigrafía determinada de suelos y rocas. Todos los resultados de estos análisis estratigráficos se encuentran detallados en los cuadros respectivos, lo cual servirá para determinar cómo es la estratigrafía área y permitirá garantizar la construcción de la Central Hidroeléctrica.

Discusión 3:

En el trabajo de investigación se analizó, las condiciones de permeabilidad del área de estudio, para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica. Para determinar las condiciones de permeabilidad del área de estudio, se aprovechó los sondajes diamantinos, se realizó ensayos de

permeabilidad de acuerdo a la litología, en suelos Lefrac y en rocas Lugeon dando resultados K(cm/s).

Los ensayos de permeabilidad se realizaron "in **situ**" llevados a cabo para realizar un reconocimiento geotécnico del área de estudio y permitirá garantizar la construcción de la Central Hidroeléctrica.

CONCLUSIONES

- Ejecución de perforaciones en cada zona, casa de máquinas y zona de presa, tanto en Chontayacu Alto y Bajo, se realizaron a diferentes profundidades, según lo establecido, esto con la finalidad de investigar las condiciones geotécnicas de la cimentación, calidad y profundidad del basamento rocoso.se ejecutó con la finalidad de investigar las condiciones estratigráficas, profundidad y calidad del macizo rocoso.
- El mapeo Geomecánico se realizó para cada una de las corridas o tramos perforados, y en función del tipo de roca. El RMR fue calculado luego de realizarse las correcciones por presencia de agua (valoración por Agua).
- La excavación de calicatas se ha centralizado en la investigación de los horizontes de materiales que serán de vital importancia para la construcción del proyecto.
- Determinar la permeabilidad de cada una de las unidades litológicas que fueron cortadas por las perforaciones, es una de las características de importancia para el estudio. Consecuentemente fue necesario determinar el comportamiento hidrogeotécnico dentro de los sondajes abiertos a distintas profundidades de la perforación, mediante ensayos de permeabilidad in situ.
- En las perforaciones constituidas por suelos de cobertura y roca muy fracturada, la permeabilidad fue calculada en base a los ensayos Lefranc con carga constante y variable, los resultados permitieron conocer el coeficiente de permeabilidad de manera puntual y referencial para cada unidad atravesada.
- En los sectores en que el macizo rocoso presentaba buenas condiciones geomecánicasse ejecutaron ensayos a presión del tipo Lugeon.
- En los sectores donde el estrato presenta comportamiento de suelo, se realizaron ensayos de Penetración Estandar (SPT), es un ensayo de campo, se mide la

resistencia a la penetración del terreno mediante la hinca dinámica de un sacamuestras que tiene una forma normalizada.

- Se instaló piezómetros, para determinar el nivel freático, con el propósito de monitorear los niveles de agua en el terreno de fundación en ambas zonas Chontayacu Alto y Bajo, se instalaron piezómetros hidráulicos del tipo Casagrande.
- Los piezómetros hidráulicos consistieron de tuberías de PVC de 2” de diámetro. La tubería colocada posee ranuras transversales de 0,02” (0,508mm) dispuestas en dos franjas longitudinales.
- Los ensayos petrográficos, se realizaron en dos fases, ensayos macroscópicos y microscópicos en muestras de roca de las perforaciones diamantinas ejecutadas.

RECOMENDACIONES

- Mejorar sectores que presentan relieves de difícil acceso para realizar las perforaciones diamantinas tanto en casa de máquinas y zona de presa.
- Mejorar las condiciones para cruce de ríos con caudales elevados.
- Mejorar apoyo logístico, para el abastecimiento de agua, petróleo y alimentación.
- Mejorar el ambiente del Core Shack para llevar a cabo un buen logueo geotécnico.
- Se recomienda realizar ensayos de compresión uniaxial, triaxial en laboratorios profesionales para obtener resultados verídicos y esto nos ayuda a determinar el comportamiento del terreno que presentará cuando se ejecute la construcción.
- Se recomienda empezar la construcción en épocas que no sea lluvioso, ya que esto dificultaría el avance y se generaría un retraso en la obra.
- Se recomienda ingresar a los puntos de las calicatas con un personal guía que conoce la zona, debido a su vegetación del terreno es muy peligroso y existen animales silvestres.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson & Woessner (1991). Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flowand Advective Transport. pp 396.
2. BISA (2012). Ingeniería Básica y de Detalle del Depósito de Desmonte Molinete. pp31.
3. Chereque, Wendor. (1989). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. pp 117122.
4. Duncan, M. (2000). Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering. Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering , pp. 307-309.
5. Gerscovich, D., Vargas, E., & de Campos, T. (2006). the evaluation of unsaturated flowin a natural slope . Rio de Janeiro: Engineering Geology.
6. Gomez, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas* [Tesis doctoral, Universidad Complutense deMadrid]. Repositorio institucional de la Universidad Complutense de Madrid. https://eprints.ucm.es/id/eprint/55931/1/T41185.pdf
7. Gonzalez de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica (2da ed.). Madrid: Pearson Education**.**
8. Kainthola, A, Verma, D (2011). “A Coal Mine Dump Stability Analysis India: Department of earth science, Indian Institute of technology Bombay, Vol.1 No.1, 2011.
9. Oyanguren, R., & Alejano, P. (2007). Mecánica De Rocas : Fundamentos e Ingeniería De Taludes. Madrid.: Red DESIR
10. Suarez Diaz, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

11. Vilca, A. (2019). *Estudio geotécnico para la estabilidad del Talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa – Arequipa*. [Tesis Universidad NacionalSan Antonio Abad deCusc115

ANEXOS

Anexo 1: Instrumentos de Recolección de datos

Imagen 2.

Toma de muestras de agua en Piezómetros.

Imagen 3.

Ejecución de ensayo de permeabilidad tipo Lugeon

Imagen 4.

Medición de Niveles freáticos en piezómetro.

Imagen 5.

Ejecución de ensayo de penetración estándar (SPT)

Anexo 2: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO DE TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHONTAYACU ALTO Y BAJO, 2020"

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL: ¿Cuáles son las condiciones geológicas y geotécnicas para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020?	**OBJETIVO GENERAL:** Evaluar las condiciones geológicas y los parámetros geotécnicos del macizo rocoso para establecer la viabilidad de los diseños y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020.	**HIPOTESIS GENÉRICO:** La evaluación de las condiciones geológicas y los parámetros geotécnicos del macizo rocoso serán favorables para el diseño y construcción la de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020..	**V. I:** Evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas.	1. Tipo de suelo 2. Tipo de roca. 3. Forma del relieve 4. Cinemática de falla 5. Edad de la roca

PROBLEMAS ESPECIFICOS:	**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**	**HIPOTESIS ESPECIFICOS:**	**VD:**	1. Coeficiente de permeabilidad 2. metros sobre elnivel del mar.
PE1: ¿Cuáles son las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante de los suelos en el área del proyecto? PE2: ¿Cuál es la importancia de los perfiles lito estratigráficos en el área del proyecto? PE3: ¿Cuáles son las condiciones de permeabilidad en el área del proyecto?	OE1: Determinar las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante de los suelos del área de estudio. OE2: Realizar los perfiles lito estratigráficos del área de estudio. OE3: Determinar las condiciones de permeabilidad del área de estudio	HE1: Las propiedades estructurales del macizo rocoso y capacidad portante de los suelos son favorables para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020. HE2: La caracterización de los perfiles lito estratigráficos ayudan al diseño y construcción de la CentralHidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020. HE3: Las condiciones de permeabilidad del área de estudio son favorables para el diseño y construcción de la Central Hidroeléctrica Chontayacu Alto y Bajo, 2020.	Parámetros geotécnicos de los macizos rocosos para el diseño y construcción de la central hidroeléctrica	