

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA
CIMENTACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES
FRAYLONES - PROYECTO LA ARENA - LA LIBERTAD**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

Bach. FILADELFIO CRUZADO MEJÍA

ASESOR:

Ing. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

CAJAMARCA - PERÚ

2014

DEDICATORIA

A mis maestros:

Marcial Cruzado V. y Fraccila Mejía M. mis padres por ser mis maestros de vida y guiarme sabiamente por el camino del bien.

Reinaldo Rodríguez C. mi maestro de profesión por guiarme en el sendero de la geología y la geotecnia.

AGRADECIMIENTOS

A todos los docentes de la EAPIG por su valioso aporte en mi formación profesional.

A la empresa Golder Associates Perú, en especial al Ing. Henry Gabulle, por facilitarme información para el desarrollo de la tesis.

A mis padres, hermanos, esposa e hijo; por su invaluable apoyo constante al educarme, guiarme, entenderme y confiar en mí.

A todos mis amigos y compañeros que de una u otra manera contribuyeron en el desarrollo de esta Tesis.

RESUMEN

La Presa de Relaves Fraylones, se ubica en la confluencia de las quebradas Fraylones y La Florida; en los caseríos La Ramada y La Arena, distrito Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, La Libertad.

El objetivo de la Tesis profesional es realizar la Zonificación Geotécnica en la zona de cimentación de la presa de relaves Fraylones, para lo cual se desarrollaron investigaciones geológicas, geofísicas y geotécnicas.

En las investigaciones geológicas se desarrollaron: cartografiado geomorfológico, geológico y estructural a escala 1:10 000.

Se realizaron investigaciones geofísicas mediante trece (13) líneas de refracción sísmica y veinte y dos (22) ensayos Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW).

Además se ejecutaron investigaciones geotécnicas mediante mapeo geomecánico superficial en veinte y cuatro (24) estaciones ubicadas en ambos flancos de la presa de relaves, siete (07) sondajes geotécnicos distribuidos en la zona de cimentación, dentro de los cuales se desarrollaron ensayos de conductividad hidráulica, ensayos de penetración, se extrajeron muestras para ensayos estándar y ensayos especiales en laboratorio.

Luego de la obtención de la información producto de las investigaciones se realizó un análisis e interpretación dando como resultado la Zonificación Geotécnica, determinándose once (11) unidades geotécnicas.

ABSTRACT

The Fraylones Tailings Dam, is located at the confluence of Fraylones and The Florida streams, in the communities of the Ramada and the Sand in Huamachuco, Sánchez Carrión , La Libertad State.

The goal of this thesis is to perform a professional Geotechnical Zoning on the base area of the Fraylones tailings dam. In order to do this; geological, geophysical, and geotechnical investigations were developed.

Geological investigations were developed following: Geomorphological, geological and structural mapping, at 1:10 000 scale. Geophysical investigations were performed using thirteen (13) lines of seismic refraction and twenty- two (22) trials Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) .

Additional researches included, geotechnical investigations that were carried out by geotechnical surface mapping in twenty -four (24) stations located in two sides of the tailings dam and seven (07) geotechnical drilling distributed in the base area. In this foundation area, conductive hydraulic tests and penetration tests were performed by using standard and special samples processed in the laboratory.

After obtaining information from the research, an analysis of interpretation was done; the result was the Geotechnical Zoning, determining eleven (11) geotechnical units.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FOTOS.....	xi
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	2
1.4.1. General.....	2
1.4.2. Específicos.....	2
1.4.3. Académico.....	2
1.5. HIPÓTESIS.....	3
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.7. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS.....	3
1.8. ALCANCES.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES.....	6
2.2. TEORÍAS.....	6
2.2.1. Zonificación Geotécnica.....	6
2.2.2. Prospección Geofísica.....	7
2.2.3. Caracterización Geomecánica.....	10

	Pág.
2.2.4. Clasificación de Suelos.....	20
2.2.5. Consistencia y Compacidad de Suelos.....	25
2.2.6. Parámetros Resistentes	26
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	27

**CAPITULO III
GENERALIDADES.....30**

3.1	UBICACIÓN.....	30
3.2	ACCESIBILIDAD.....	30
3.3	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	32
3.4	CLIMA.....	32
3.5	PRECIPITACIÓN.....	34
3.6	FISIOGRAFÍA.....	35
3.7	DRENAJE.....	36
3.8	SISMICIDAD.....	36

**CAPITULO IV
GEOMORFOLOGÍA.....37**

4.1.	PLANICIES.....	39
4.2.	LOMADAS.....	39
4.3.	LADERAS.....	39
4.4.	ESCARPAS.....	39

**CAPITULO V
GEOLOGÍA.....41**

5.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	41
5.2.	UNIDADES INGENIERO GEOLÓGICAS.....	45
5.2.1.	Unidades de Suelo.....	45
5.2.2.	Unidades de Roca.....	48
5.3.	ASPECTOS ESTRUCTURALES.....	52

	Pág.
CAPITULO VI	
GEOFÍSICA.....	54
6.1. REFRACCIÓN SÍSMICA.....	54
6.2. MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW).....	56
CAPITULO VII	
GEOTECNIA.....	59
7.1. CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA.....	59
7.1.1. Estaciones Geomecánicas Flanco Derecho.....	59
7.1.2. Estaciones Geomecánicas Flanco Izquierdo.....	64
7.2. SONDAJES GEOTÉCNICOS.....	69
7.3. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	74
7.3.1. Ensayos Estandar	74
7.3.2. Ensayos Especiales.....	74
7.4. CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA.....	76
7.5. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	78
7.6. ESTRIBO DERECHO.....	82
7.7. ZONA CENTRAL.....	82
7.8. ESTRIBO IZQUIERDO.....	84
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA.....	88
ANEXOS.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Pág.
Fig. 2.1. Ensayo de Refracción Sísmica	8
Fig. 2.2. Interpretación general de tipos de materiales y velocidades de onda.....	9
Fig. 2.3. Carta Casagrande para Suelos Cohesivos.....	25

LISTA DE TABLAS

Tablas	Pág.
Tabla 2.1 Índice de Calidad de la Roca respecto al RQD.....	11
Tabla 2.2 Puntaje para cálculo de RMR - Compresión Uniaxial.....	12
Tabla 2.3 Valoración RMR respecto al RQD.....	13
Tabla 2.4 Valoración RMR respecto al Espaciamiento de Discontinuidades.....	13
Tabla 2.5 Valoración RMR respecto a la Condición de Fractura generalizada.....	14
Tabla 2.6 Valoración RMR respecto a la Condición de Fractura Detallada.....	15
Tabla 2.7 Valoración RMR respecto a la Condición de Agua.....	15
Tabla 2.8 Clasificación RMR Rock Mass Rating.....	16
Tabla 2.9 Caracterización del macizo rocoso GSI.....	19
Tabla 2.10 Definición de constituyentes del suelo.....	23
Tabla 2.11 Símbolos de grupo en suelos.....	23
Tabla 2.12 Símbolos de tipo de suelo.....	24
Tabla 2.13 Criterios para la Descripción de la Consistencia.....	25
Tabla 2.14 Criterios para la Descripción de la Compacidad.....	26
Tabla 3.1 Coordenadas del Dominio del Proyecto Presa de Relaves	31
Tabla 3.2 Accesibilidad Terrestre a la Presa de Relaves	31
Tabla 3.3 Estimación de Variación de Temperaturas Mensual	33
Tabla 3.4 Estimación de Variación de Humedad Relativa Promedio Mensual.....	33
Tabla 3.5: Estimación de Variación de la Precipitación Mensual y Anual.....	35
Tabla 4.1 Rangos de Pendientes y Unidades Geomorfológicas.....	38
Tabla 6.1: Líneas de refracción sísmica.....	55
Tabla 6.2: Sondajes geofísicos.....	56
Tabla 6.3: Velocidad de Onda de Corte.....	57

Tablas	Pág.
Tabla 7.1: Resultados del Análisis Geomecánico.....	69
Tabla 7.2: Sondajes Geotécnicos, Ensayos In Situ y Muestras.....	70
Tabla 7.3: Resultados de Ensayos Estándar de Laboratorio.....	75
Tabla 7.4: Resultados de Ensayos Especiales de Laboratorio.....	76
Tabla 7.5: Parámetros de Resistencia de Suelo.....	77

LISTA DE FOTOS

Foto	Pág.
Foto 01: Planicies y lomadas en la Zona de Embalse y estribo derecho.....	38
Fotos 02: Laderas y lomadas zona de cimentación.....	38
Fotos 03: Lomadas en la zona de embalse.....	40
Fotos 04: Lomadas en la zona de embalse.....	40
Fotos 05: Humedales en el Área de Cimentación.....	45
Fotos 06: Terraza Fluvial del Río Yamobamba.....	46
Fotos 07: Depósitos Coluviales Estribo Izquierdo.....	47
Fotos 08: Granulometría y Angulosidad de Partículas.....	47
Fotos 09: Arenisca Cuarzosa y Capas de Carbón.....	49
Fotos 10: Arenisca Cuarzosa Estribo Derecho.....	49
Fotos 11: Intercalación de Arenisca y Lutita.....	50
Fotos 12: Tobas y Brechas Volcánicas.....	51
Fotos 13: Arenisca Cuarzosa Fuertemente Fracturada.....	52

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES.

La Arena S.A. tiene previsto explotar los tajos Calaorco y Ethel a fines del año 2014; uno de los requisitos para hacer viable dicha explotación es contar con un lugar donde depositar cincuenta y siete millones de metros cúbicos (57 M-m³) de relaves provenientes de la planta de tratamiento de sulfuros.

Para tal fin en el año 2011 contrata a Golder Associates para realizar la búsqueda de posibles sitios donde se pueda construcción una presa de relaves; Golder, define al lugar denominado Fraylones como la mejor opción, por sus características geomorfológicas.

Es así que en enero del 2013 a solicitud de La Arena Golder Associates Perú inicia las investigaciones para realizar el estudio de Factibilidad de la Presa de Relaves Fraylones.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El lugar donde se cimentará la presa es la parte más angosta de la subcuenca Fraylones, que corresponde a la confluencia de las Quebradas Fraylones y La Florida, ambas sobre la margen izquierda del Rio Yamobamba. Los depósitos cuaternarios encontrados son: depósitos fluviales, coluviales y eluviales, con una altitud promedio de 3 300 m.s.n.m en la parte central del lugar de cimentación. En la margen derecha se encuentra una colina, en la que afloran rocas areniscosas fracturadas, intercaladas con lutitas carbonosas, limolitas y algunos estratos de carbón, con dirección promedio N320° y buzamientos hacia el NE. El fondo del valle es relativamente plano, constituido por limos orgánicos oscuros y blandos, los cuales estarían sobreyaciendo a depósitos fluvio-aluviales y en su parte inferior en se tiene el basamento rocoso.

El flanco izquierdo muestra mucha similitud morfológica con el flanco derecho, con una cobertura de depósitos aluviales y coluvio-aluviales, con probable basamento rocoso similar al mostrado en el flanco derecho.

La cimentación de la presa de relaves tanto en los flancos derecho e izquierdo y el fondo del valle, requiere una evaluación geotécnica profunda para determinar la zonificación geotécnica que proporcione información para la elección del mejor diseño que de estabilidad a la presa.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Será factible la zonificación geotécnica teniendo en cuenta las condiciones litomorfoestructurales y geomecánicas que presentan los macizos rocosos y los suelos en la zona de cimentación de la presa de relaves Fraylones?

1.4. OBJETIVOS.

a. General:

Realizar la zonificación geotécnica de suelos y rocas del lugar donde se va a cimentar la Presa de relaves Fraylones.

b. Específicos:

- Evaluar las condiciones litomorfoestructurales del lugar de cimentación de la presa de relaves Fraylones.
- Determinar la caracterización Geomecánica del macizo rocoso en los flancos y en el fondo del valle donde se cimentará la presa.
- Realizar la zonificación geotécnica de las rocas y suelos con los datos de las investigaciones geológicas, geofísicas y geotécnicas.

c. Académico.

- Optar Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.5. HIPÓTESIS.

Las características litomorfoestructurales del macizo rocoso y los depósitos fluvioaluviales y coluvioaluviales de la zona de cimentación de la presa presentan condiciones geomecánicas favorables para la zonificación geotécnica.

1.6. JUSTIFICACIÓN.

Las presas de relaves son estructuras que se construyen para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de beneficio de minerales, los cuales están compuestos por material triturado y agua con reactivos.

La comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) en el 2001, en su Boletín 121, analiza los resultados de 251 casos de falla, en presas de residuos mineros, las que demuestran que estas se producen tanto en las que están en operación como en las inactivas o abandonadas. Las principales causas de falla según el análisis son: Problemas de cimentación, deslizamiento del talud, terremoto, desbordes, tubificación, falla por problemas en las estructuras auxiliares, erosión del dique.

Las consecuencias de estas fallas son grandes pérdidas económicas, degradación y contaminación del medio ambiente y en muchos casos pérdidas de vidas humanas.

Siendo los problemas litomorfoestructurales los responsables de la mayor cantidad de fallas en presas de relaves, es indispensable realizar una zonificación geotécnica de la zona, de tal manera que ayude en el diseño de la presa y evitar fallamientos en la estructura.

1.7. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS.

La presente investigación se inició con visitas de reconocimiento a la zona de estudio, para poder determinar el área de estudio, la magnitud del

problema y planificar las investigaciones necesarias; luego de la visita de reconocimiento el trabajo se dividió en tres principales etapas.

a. Planificación.

Consistió en la recopilación de información, referente a estudios anteriores de la zona, antecedentes, encontrándose estudios regionales y algunos estudios generales de la zona.

En esta etapa también se llegó a planificar las investigaciones necesarias a llevar a cabo, a fin de llegar a realizar la zonificación geotécnica.

b. Trabajo de campo.

Consistió en varias actividades, todas ellas secuencialmente.

- **Cartografiado geomorfológico, geológico y estructural.**

Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y estructural a escala 1:10 000, para entender la disposición espacial de las diferentes unidades litomorfoestructurales en el lugar de cimentación.

- **Prospección Geofísica.**

Se realizaron 13 líneas de Refracción Sísmica, de las cuales siete (07) paralelas al eje de la presa y seis (06) transversales al eje; así mismo, se realizaron veinte y dos (22) sondajes geofísicos ubicados principalmente en las intersecciones de las líneas de refracción sísmica.

- **Investigaciones geotécnicas mediante perforaciones.**

Se realizaron siete (07) sondajes geotécnico distribuidos dentro y cercanos a la zona de cimentación. Son sondajes diamantinos con recuperación de testigos para el registro geotécnico, además dentro de ellos se realizó ensayos SPT, LPT, Cono Tipo Peck, se extrajo

algunas muestras Shelby, se seleccionaron muestras de roca para ensayos de laboratorio.

- **Cartografiado Geomecánico.**

Se realizó la toma de datos en veinte y cuatro (24) estaciones geomecánicas distribuidas en ambos flancos, para determinar la caracterización Geomecánica del macizo en superficie y correlacionarlo con la información de los sondajes.

c. Trabajo de gabinete.

Esta etapa consiste en:

- Almacenar, ordenar, analizar e interpretar la información obtenida del mapeo geológico–geomorfológico, prospección geofísica, investigaciones geotécnicas en sondajes, mapeo geomecánico, obteniendo como resultado la zonificación geotécnica.

- Redacción de la tesis y la sustentación.

1.8. ALCANCES.

Con la presente tesis se busca lograr un aporte científico ingenieril, utilizando el análisis de la información geológica superficial, prospección geofísica, mapeo geomecánico y perforaciones geotécnicas en la zona de cimentación, para definir la zonificación geotécnica, con lo cual se determinará las posibilidades de cimentación de la presa; teniendo en cuenta que la investigación es de alcance transversal, descriptivo y correlacional.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

- En 1980, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), realizó el cartografiado geológico a escala 1:1000 del cuadrángulo Cajabamba, el cual se encuentra documentado en la Hoja 16-g y el Boletín N°31 de la carta geológica Nacional.

- En Julio del 2011, Golder Associates realizó el Estudio de Selección de Sitio para la Disposición de Relaves, como parte del proyecto La Arena - Fase I. identificando el sitio denominado Fraylones confluencia de las quebradas Fraylones y La Florida como posible lugar para la disposición de relaves, por sus características geomorfológicas.

- En Octubre del 2011, Golder Associates, realiza el estudio geológico-geotécnico superficial del sitio Fraylones, el cual se encuentra documentado en el Memorando Técnico Investigación Geológica – Geotécnica del depósito de Relaves del sitio Fraylones”.

- En Noviembre del 2011, Golder Associates a solicitud de Rio Alto Mining, realiza el estudio de Pre-Factibilidad del depósito de Relaves del Proyecto la Arena.

- En Septiembre del 2012 Golder Associates, como parte del Estudio de Factibilidad del Depósito de Relaves en el Sitio Fraylones, realiza el mapeo geológico, el cual se encuentra documentado en el memorando técnico geología del área del depósito de relaves en el sitio Fraylones”.

2.2. TEORÍAS

2.2.1. Zonificación Geotécnica

Según Gonzales de Vallejo (2002); la zonificación geotécnica se basa en la clasificación de unidades geotécnicamente homogéneas, que pueden

abarcando diferentes edades geológicas; a su vez, estas pueden dividirse en subunidades. El detalle y el grado de homogeneidad dependen de la escala, objetivo del mapa y datos disponibles.

Gonzales también dice que la delimitación de las unidades geotécnicas de suelos y rocas se deberá realizar en de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, como resistencia, deformabilidad, permeabilidad, etc.

En cuanto a la zonificación de suelos; Gonzales dice que una de las opciones es realizarlo de acuerdo al Sistema Unificado SUCS, carta de plasticidad de Casagrande, tipo de depósito, Consistencia o Densidad Relativa, permeabilidad, y parámetros de resistencia.

Para la zonificación de rocas se deberá tener en cuenta clasificaciones geomecánicas, las que están referidas a la resistencia de la matriz rocosa, meteorización y/o alteración, frecuencia, distribución y tipos de discontinuidades, el grado de fracturamiento y permeabilidad (Gonzales de Vallejo 2002)

2.2.2. Prospección Geofísica.

a. Refracción Sísmica con Tomografía Icónica.

Según J. Arce (2002), el método de Refracción Sísmica permite determinar la secuencia vertical de variaciones en impedancia acústica de una columna litológica afectada por ondas originadas en un punto de impacto. Las condiciones elásticas de los materiales del subsuelo están definidas por el grado de cohesión de las partículas y por la densidad; las velocidades de onda están, por tanto, en relación directa con la compacidad y con el peso. Se deduce, pues, que los sedimentos no consolidados y livianos son más “lentos” que las rocas duras y densas.

La aplicación típica del método de Refracción Sísmica en estudios geotécnicos está, fundamentalmente, en la determinación del perfil de basamento, y de otros planos de contacto elástico que separan rocas con diferente impedancia acústica. Las velocidades de onda sísmica son amortiguadas cuando la roca está fracturada ya que los espacios

abiertos disminuyen la cohesión original. La operación de campo sísmica permite llegar a cálculos de profundidad bajo cada geófono. (Arce, 2002)

La norma internacional ASTM D 5777, dice que las ondas producidas por un golpe o explosión viajan en todas direcciones, a velocidades dependientes de la impedancia acústica del medio elástico en que se mueven. Parte de la energía se disipa en el aire como sonido, a 0.33 km/s de velocidad; el resto penetra al subsuelo siguiendo trayectorias que son modificadas por los cambios elásticos al pasar de un horizonte sísmico a otro. Ver Fig. 2.1.

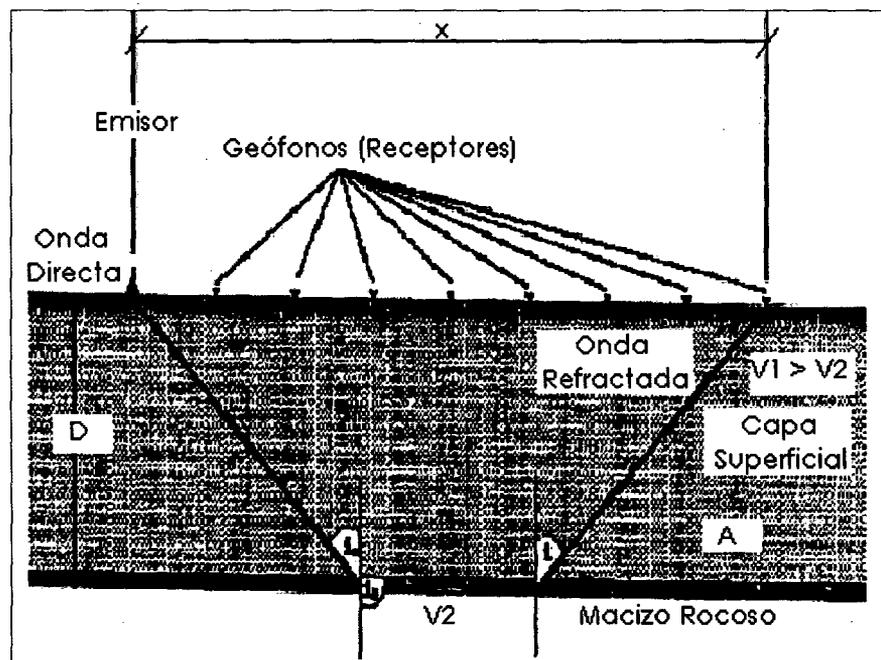


Fig. 2.1: Ensayo de Refracción Sísmica (Norma ASTM D 5777)

J. Arce (2002), también dice que la interpretación y cálculo de sismogramas comienza con la identificación de llegadas de onda a cada geófono y su graficado en curvas de tiempo (llegadas) - distancia (a partir del punto de impacto), llamadas también "dromocrónicas". Estas curvas están realmente conformadas por segmentos cuyas pendientes son determinadas por las velocidades de las capas. Los tiempos de llegada, dos a cada geófono en los sismogramas de doble dirección, son relacionados con las duraciones totales de los registros y con las

velocidades, para calcular las profundidades mediante técnicas conocidas como de “frentes de onda”, o de “tiempos de retardo”, o por “tomografía icónica de trayectorias”.

José Arce (2010), de acuerdo a sus experiencias durante las últimas cuatro décadas en los Andes latinoamericanos ha preparado un diagrama de referencia (*Fig. 2.2*) para situaciones geológicas generales. La asignación de colores es arbitraria y es necesario adecuar la escala de colores a las condiciones propias de cada lugar investigado. Este diagrama no necesariamente es aplicable a situaciones particulares y se muestra solamente como referencia para compararlo con las características sísmicas y geológicas locales.

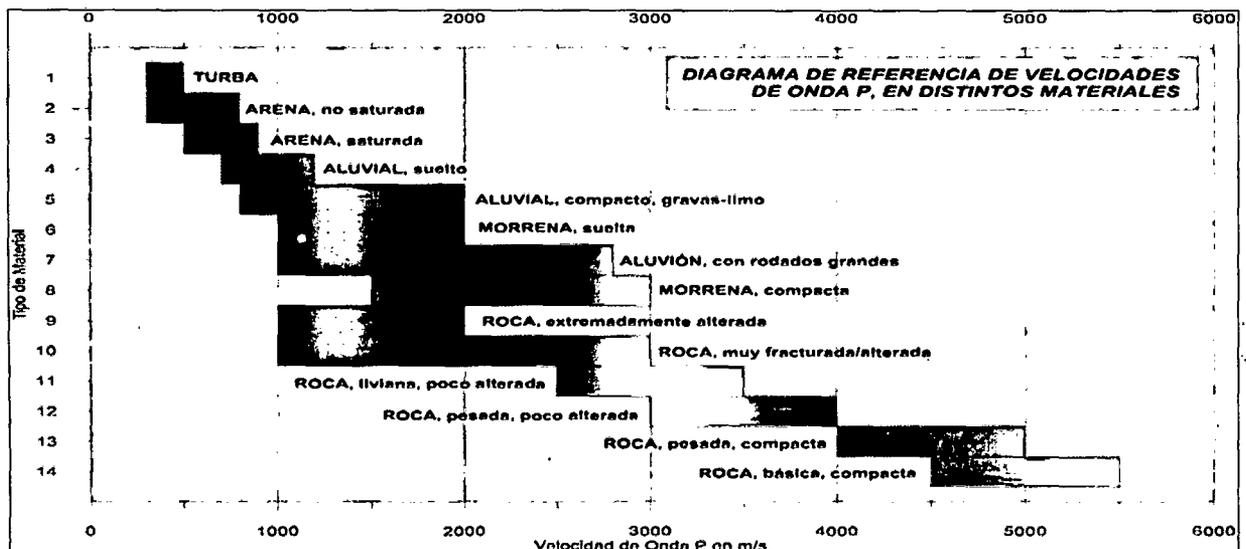


Fig. 2.2: Interpretación general de tipos de materiales litológicos y sus velocidades de onda P (Arce Geofísicos -2010).

b. La Técnica Spectral Analysis of Surface Waves.

Según J. Arce (2002), el método Spectral Analysis of Surface Waves fue desarrollado entre 1999 y 2000 por los ingenieros y científicos del Kansas Geological Survey (KGS). Ahora es más aceptado el nombre de Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). Las técnicas de modelado han sido mejoradas desde entonces hasta obtener la precisión disponible en la actualidad, la cual es mayor que la de los registros

convencionales tipo Down-Hole. Una de las ondas menos utilizadas en el pasado era la onda de superficie, también conocida como Rayleigh o Groundroll, por interferir con las reflexiones y refracciones de las ondas de sonido, necesarias para los estudios sísmicos. Los investigadores del KGS pudieron determinar que las ondas de superficie tienen un componente principal de más de 98% de onda S y menos de 2% de onda P. La investigación también mostró que las ondas de superficie se atenúan a mayores frecuencias y con una disminución de velocidad de fase.

2.2.3. Caracterización Geomecánica.

Actualmente los sistemas más usados en la clasificación macizos rocosos son el Sistema de Barton también llamado Índice Q (Barton et al. , 1974), Sistema de Bieniawski o Índice RMR (Bieniawski 1973), el Metodo del Índice de Resistencia Geológica o GSI (Hoek, 1994), Índice RQD Rock Quality Designation (Deere et al. 1967).

a. Rock Quality Designation (Índice RQD).

En 1967, Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de los núcleos con perforación diamantina, al que lo llamó Rock Quality Index (Índice de la calidad de la roca), el cual se identifica como RQD, y se define como el porcentaje representado por la sumatoria de longitudes de tramos de núcleo de barrenos de diamante que se recuperan en longitudes enteras mayores o iguales a 100mm, dividida entre la longitud total barrenada matemáticamente:

$$\text{RQD (\%)} = 100 \times \frac{\text{Longitud de los núcleo mayor o iguales de 100mm}}{\text{Longitud de la corrida de perforación.}}$$

Deere propuso una relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca desde el punto de vista en la ingeniería. *Ver Tabla 2.1.*

Tabla 2.1: Índice de Calidad de la Roca respecto al RQD (Deere, 1964).

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

Cuando no se dispone de núcleos de perforación, es decir en afloramientos de roca, se podrá estimar el RQD por la cantidad de discontinuidades contenidas en la unidad de volumen, en la que la cantidad de discontinuidades por metro cúbico, en cada sistema de discontinuidades se suman. Una simple relación podrá usarse para convertir esta cantidad en RQD para una roca sin arcilla, usando este parámetro.

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Donde J_v es la cantidad total de discontinuidades por m^3

Para $J_v < 4.5$ se considera $RQD = 100$.

b. Rock Mas Rating (RMR).

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno: La resistencia a la compresión uniaxial de la roca (1), RQD (Rock Quality Designation) (2), espaciamiento de discontinuidades (3), condición de las discontinuidades (4), presencia de agua (5); Siendo el $RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$.

- Resistencia a la compresión uniaxial.

También llamada Resistencia a la Compresión simple, es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio, también se puede estimar de forma aproximada a partir de índices obtenidos en sencillos ensayos de campo, como el ensayo de carga puntual o el martillo de Schmidt. Con los resultados de cualquiera de estos métodos se puede clasificar y dar un puntaje a la roca de acuerdo a su resistencia. Ver *Tabla 2.2*.

Tabla 2.2: Valoración RMR respecto a la Resistencia a la Compresión Uniaxial (Bieniaswki 1989).

Clase	Descripción (Roca)	UCS (Mpa)	PLS (Mpa)	Identificación de campo.	Puntaje RMR
R0	Extremadamente Débil	<1	N.A.	La roca puede ser marcada por la uña del pulgar.	0
R1	Muy Débil	1-5	N.A.	Se disgrega o desintegra al golpe firme con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbada con un cortaplumas.	1
R2	Débil	5-25	N.A.	Con dificultad puede ser escarbada con un cortaplumas. Marcas superficiales pueden ser hechas con un golpe firme con la punta del martillo geológico.	2
R3	Moderada o Medianamente Dura	25-50	1-2	No puede ser escarbada con un cortaplumas. Se rompe con un golpe firme del martillo geológico.	4
R4	Dura	50-100	2-4	Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	7
R5	Muy Dura	100-250	4-10	Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	12
R6	Extremadamente Dura	>250	>10	Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas.	15

- RQD.

El índice RQD Rock Quality Index (Índice de la calidad de la roca), se le asigna valores como los que se muestran en la *Tabla 2.3*.

Tabla 2.3: Valoración RMR respecto al RQD (Bieniawski 1989).

RQD (%)	Calidad de la Roca	Puntaje RMR 89
< 25	Muy Mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

- Espaciamiento de Discontinuidades.

Se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. Normalmente referido al espaciado medio o modal de los valores medidos para las discontinuidades de una misma familia.

Para el cálculo de RMR el espaciamiento se ha agrupado en siete (07) los que se muestran en la *Tabla 2.4*.

Tabla 2.4: Valoración RMR respecto al Espaciamiento de Discontinuidades (Bieniawski 1989).

Descripción del Espaciamiento	Espaciado (mm)	Espaciado (cm)	Puntaje RMR 89
Muy Junto	< 60	<6	5
Junto	60 – 200	6 - 20	8
Moderadamente Junto	200 – 600	20 - 60	10
Separado	600 – 2 000	60 - 200	15
Muy Separado	>6 000	>200	20

- Condición de las discontinuidades.

La condición de las discontinuidades es el estado en que se encuentran éstas, teniendo cinco (05) parámetros a considerar: Continuidad o persistencia, abertura o espesor, rugosidad, material de relleno, alteración.

Continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y su buzamiento.

Abertura o espesor es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno.

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de las discontinuidades.

En cuanto al material de relleno; las discontinuidades pueden estar rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes.

La alteración se refiere al grado de alteración de las paredes de las discontinuidades.

Usualmente es posible asignar a las superficies de las discontinuidades alguna característica asociada a su forma y a su condición general en el intervalo de logueo o corrida, en este caso se usará la *Tabla 2.5* para la valoración respecto al RMR. En ocasiones, se requiere de una mayor precisión en la definición de este parámetro, razón por la cual, la *Tabla 2.6* incluye un detalle de la valoración más estricta.

Tabla 2.5: Valoración RMR respecto a la Condición de Fractura generalizada (Bieniawski 1989).

Descripción	Valoración RMR 1989
Fracturas continuas. Relleno blando, suave > 5 mm de espesor, separación > 5 mm.	0
Fracturas continuas. Superficie con estrías de fricción o superficies pulidas con relleno blando < 5 mm ó separación de 1 a 5 mm.	10
Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1 mm, paredes/caras de testigos roca altamente meteorizadas o alteradas	20
Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1 mm, paredes/caras de testigos de roca dura a ligeramente alteradas.	25
Superficies muy rugosas, fracturas discontinuas o no continuas, sin separación, no meteorizadas o inalteradas (paredes de roca dura).	30

Tabla 2.6: Valoración RMR respecto a la Condición de Fractura Detallada (Bieniawski 1989).

Parámetro de Discontinuidad	Condición o Característica				
Continuidad (m)	<1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	>20
Valoración	6	4	2	1	0
Apertura (mm)	0	<0.1	0.1 - 1	1 - 5	>5
Valoración	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa o Suave	Pulida
Valoración	6	5	3	1	0
Condición de Relleno	Sin Relleno	Duro <5mm	Duro >5mm	Blando < 5mm	Blando >5mm
Valoración	6	4	2	2	0
Alteración	Fresca	Ligeramente Alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descom -puesta
Valoración	6	5	3	1	0

- **La presencia de agua.**

El agua en un macizo roco procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades, aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa pueden ser importantes. Las observaciones respecto a las filtraciones y su valoración para el RMR se muestran en la *Tabla 2.7*.

Tabla 2.7: Valoración RMR respecto a la Condición de Agua (Bieniawski 1989).

Descripción	Qw (lt/min)	Pw / S1	Puntaje RMR 89
Completamente Seca	0	0	15
Humeda	<10	<0.1	10
Mojada	10 - 25	0.1 - 0.2	7
Goteo	25 - 125	0.2 - 0.5	4
Filtraciones	>125	>0.5	0

Luego de dar las valoraciones para cada parámetro del RMR, se procede a sumar todos los puntajes, el puntaje acumulado será la valoración

RMR para el macizo rocoso, luego se procede a calificar y a nombrar por clases de acuerdo a la *Tabla 2.8*.

Tabla 2.8: Clasificación RMR Rock Mass Rating (Bieniawski 1989).

Calidad del Macizo	RMR	Clase
Muy Mala	≤ 20	V
Mala	21 - 40	IV
Regular	41 - 60	III
Buena	61 - 80	II
Muy Buena	81 - 100	I

c. GSI *Geological Strength Index*

El Índice de resistencia geológica (GSI) es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Hoek (2002)

Fue presentado por Hoek (1995) como complemento a su criterio generalizado de falla en roca, y como una forma de estimar los parámetros s , y m_b en el criterio, El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. Se ha actualizado para macizos débiles en varias ocasiones (1998, 2000 y 2001 (Hoek et al., 2002)).

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo con respecto a la estructura y a las condiciones de la superficie de las discontinuidades.

Estructura del Macizo.

A nivel de estructura se tiene en cuenta el grado de alteración que ha sufrido la roca, la unión que existe entre los bloques formados, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Hoek (2002) agrupa en seis (6) principales tipos de estructuras que a continuación se detallan:

Intacta o Masiva: Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.

Blocosa o Fracturada en Bloques: Macizo rocoso conformado por trozos o bloques de roca bien trabados entre sí, de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras, ortogonales entre sí.

Muy Blocosa o Fuertemente Fracturada: Macizo rocoso algo perturbado, conformado por trozos o bloques de roca trabados, de varias caras, angulosas y definidas por cuatro o más sets de estructuras.

Blocosa Veteada o Fracturada y Perturbada: Macizo rocoso plegado y/o afectado por fallas, conformado por trozos o bloques de rocas de varias caras, angulosas y definidas por la intersección de numerosos sets de estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.

Desintegrada: Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulosos y redondeados débilmente encajados.

Laminada y Cizallada: Macizo rocoso con planos débiles (cizalla o esquistosidad), muy poco espaciados entre sí y que no definen bloques.

- **Condiciones de las Estructuras.**

Para las condiciones de la superficie de las discontinuidades, se tiene en cuenta si ésta se encuentra alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, el tipo de recubrimiento existente, y la rugosidad que presentan. Se agrupan en cinco (5) tipos, los que se detallan a continuación:

Muy Buena: Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).

Buena: Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.

Regular: Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.

Mala: Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes.

Muy Mala: Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.

Al realizar la combinación de estos dos parámetros fundamentales del comportamiento de los macizos rocosos, es decir su fracturación, o sea, el tamaño y la forma de los bloques, y la resistencia al corte de las discontinuidades, nos proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la *Tabla 2.10* la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI.

Los valores varían desde 0 hasta 100; los valores más bajos corresponden a superficies muy alteradas, con arcilla blanda en las discontinuidades, con una estructura poco resistente. debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin alteración, Hoek (2000).

Tabla 2.9: Caracterización del macizo rocoso GSI. Adaptada de Hoek (2000).

<p>ROCAS DIACLASADAS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>A partir de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, se estima un valor promedio del GSI. No se debe tratar de ser muy preciso. Un rango de 33-37 es más realista que un GSI=35. Note que la tabla a macizos estructuralmente controlados por fallas, donde planos estructurales débiles están presentes en una dirección desfavorable con respecto al frente de excavación, estos podrán dominar el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteración como resultado de los cambios de humedad que pueden reducirse cuando el agua está presente. Cuando trabajamos en rocas de regular o mala calidad, cambian las condiciones por el cambio de humedad. La</p>		CONDICIONES DE SUPERFICIE								
		MUY BUENAS	BUENAS	REGULAR	POBRE	MUY POBRE				
		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →								
	INTACTA O MASIVA - Especímenes de roca intacta o masiva in-situ, roca con discontinuidades amplias y espaciadas	90	80	70	60	50	40	30	20	10
	FRACTURADA - Macizo rocoso con bloques entrelazados, consistente en bloques cúbicos formados por tres intersecciones de									
	MUY FRACTURADA - Macizo parcialmente perturbado con bloques entrelazados y angulares, formados por cuatro o más									
	FRACTURADA / PERTURBADA - Macizo rocoso plegado formado por bloques angulares formados por la intersección de varios									
	DESINTEGRADA - Macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente									
	FOLIADA / LAMINADA - Se carece de bloques debido débil material presente en los planos de foliación o de cizalla	N/A	N/A							
		← DECRECE EL ENTRAMBAMIENTO DE LOS BLOQUES								

2.2.4. Clasificación de Suelos.

Según Das (2001), la clasificación del suelo es de suma importancia para la creación del modelos geotécnico y el diseño de cimentaciones en un terreno específico, debido a que se requiere conocer el tipo de suelo, la capacidad de carga y los asentamientos generados sobre los estratos de suelo presentes en el lugar donde se construirá la futura obra, de tal forma que éstos posean las propiedades necesarias para el soporte de la estructura.

Existen muchos países que tienen su propio sistema de clasificación, siendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el más usado internacionalmente para cualquier tipo de obras y el Sistema empleado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) para obras viales.

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System (USCS)), fue presentado por Arthur Casagrande, usado para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se puede clasificar suelos con tamaños menores de tres (3) pulgadas; se representa mediante un símbolo con dos letras, B. Das (2001).

B. Das (2001), también dice que dentro del SUCS se tiene dos grandes grupos, los suelos de partículas gruesas y los de partículas finas, los que se determinan mediante el cribado del material por la malla N° 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en la malla N° 200, y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicha malla.

Los rangos de tamaño han sido determinados según lo determina la norma: ASTM D2388-90 y son como se describe a continuación:

- **Sobretamaño**

Son las partículas que son retenidas en el tamiz de 75 mm (3”), y se tiene la siguiente sub división:

Bloques

Clastos o fragmentos de roca que no pasan una abertura cuadrada de 300 mm (12”), partículas mayores a 30cm.

Cantos.

Clastos de roca que pasan una abertura cuadrada de 300 mm (12”) y son retenidas en el tamiz de 75 mm (3”), es decir son las partículas con tamaños entre 7.5 y 30cm.

- **Gravas.**

Son fragmentos de roca que pasan el tamiz de 75 mm (3”) y son retenidas en el tamiz de 4.75 mm (N° 4), y se tiene las siguientes subdivisiones: Grava gruesa, todo las partículas que pasan el tamiz de 75 mm (3”) y es retenida en el tamiz de 19.0 mm (¾”); y grava fina es el material que pasa el tamiz de 19.0 mm (¾”) y es retenida por el tamiz de 4.75 mm (N°4).

- **Arena**

Son partículas de roca que pasan el tamiz de 4.75 mm (N° 4) y son retenidos en el tamiz 75 µm (N° 200), y tienen las siguientes subdivisiones: Arena gruesa es el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4) y es retenido en el tamiz de 2.0 mm (N° 10); arena media Es el material que pasa el tamiz de 2.0 mm (N°10) y es retenida por el tamiz de 4.25 µm (N° 40); y arena fina es el material que pasa el tamiz de 4.25 µm (N° 40) y es retenida por el tamiz de 75 µm (N° 200).

- **Finos**

Es el material que pasa el tamiz de 75 µm (N° 200). Típicamente, este material no es lo suficientemente grande para ser visible a simple vista. Se subdividen en dos grupos: limos y arcillas. Es importante señalar que la

distinción entre limos y arcillas se basa en su plasticidad y no pueden ser clasificados en campo en base a su tamaño de partícula.

Limo.

Es el material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200), que es no plástico o es ligeramente plástico y que presenta poca o ninguna resistencia cuando se encuentra seca al aire. Para clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice de plasticidad menor de 4, o cuya ubicación en la carta de plasticidad cae por debajo de la línea "A". (Ver Figura 2.3).

Arcillas.

Es el material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200), que puede presentar plasticidad dentro de un rango de contenidos de humedad, y que presenta considerable resistencia cuando se encuentra seca al aire. Con propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino o la porción de grano fino de un suelo, con un índice de plasticidad mayor o igual a 4, y cuya ubicación en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea "A". (Ver Figura 2.3).

Los tamaños de partículas y la definición de constituyentes se observan en la tabla 2.11.

Según Das (2001), para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico.

El método SUCS presenta diversa nomenclatura; para suelos granulares, las siglas son G (grava), S (arena), W (bien graduada) y P (mal graduada). Para suelos finos la nomenclatura es M (limo), C (arcilla), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad). Y para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba).

Tabla 2.10: Definición de Constituyentes del Suelo. Adaptada de ASTM D2388.

GRUPO DE SUELO	COMPONENTE	PLASTICIDAD	TAMAÑO DE PARTICULA	
			milímetros	pulgadas
No Cohesivo	Bloque Canto	No plástico	> 300	> 12
			300 – 75	12 – 3
	Grava Gruesa		75 – 4.75	3 – 4
	Fina		75 – 19	3 - 0.25
			19 – 4.75	0.75 – 4
No Cohesivo	Arena Gruesa	4.75 – 0.075	4 – 200	
	Media	4.75 – 2.00	4 -10	
	Fina	2.00 – 0.425	10 – 40	
		0.425 – 0.075	40 – 200	
	Limo	< 0.075	Pasa 200	
Cohesivo	Limo Arcilloso o Limo.	Índice de plasticidad por debajo del horizonte "A". Límite líquido poco menor de 30 (ver Figura 2.5).		
	Arcilla Limosa.	Índice de plasticidad sobre el horizonte "A". Límite líquido menor que 50.		
	Arcilla	Límite de plasticidad sobre el horizonte "A". Límite líquido mayor que 50.		
Orgánico				

La clasificación SUCS también presenta unos sufijos los que están relacionados a las propiedades del suelo. En la tabla 2.12 se muestran dichos símbolos y su significación.

Tabla 2.11: Símbolos de grupo clasificación SUCS.

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobremente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Es así que haciendo una combinación de estos símbolos para definir cada tipo de suelo. Ver *tabla 2.13*.

Así mismo dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios (casos de frontera finos entre 5 y 12%), empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien gradada que contenga entre un 5 y 12% de limo se clasificará como GW-GM.

Tabla 2.12: Símbolos de cada Tipo de Suelo Clasificación SUCS.

Grupo de Suelo	Símbolo	Características Generales	
Grava (>50% en tamiz # 4 ASTM)	GW	Limpias (Finos <5%)	Bien Gradada
	GP		Pobrementemente Gradada
	GM	Con finos (Finos >12%)	Componente Limoso
	GC		Componente Arcilloso
Arena (<50% en tamiz # 4 ASTM)	SW	Limpias (Finos <5%)	Bien Gradada
	SP		Pobrementemente Gradada
	SM	Con finos (Finos >12%)	Componente Limoso
	SC		Componente Arcilloso
Limo	ML	Baja Plasticidad (LL<50)	
	MH	Alta Plasticidad (LL<50)	
Arcilla	CL	Baja Plasticidad (LL<50)	
	CH	Alta Plasticidad (LL<50)	
Orgánico	OL	Baja Plasticidad (LL<50)	
	OH	Alta Plasticidad (LL<50)	
Turba	Pt	Suelos Altamente Orgánicos	

Para los suelos finos Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como Carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

Línea A: $IP=0.73 (LL-20)$

Línea B: $LL=50$

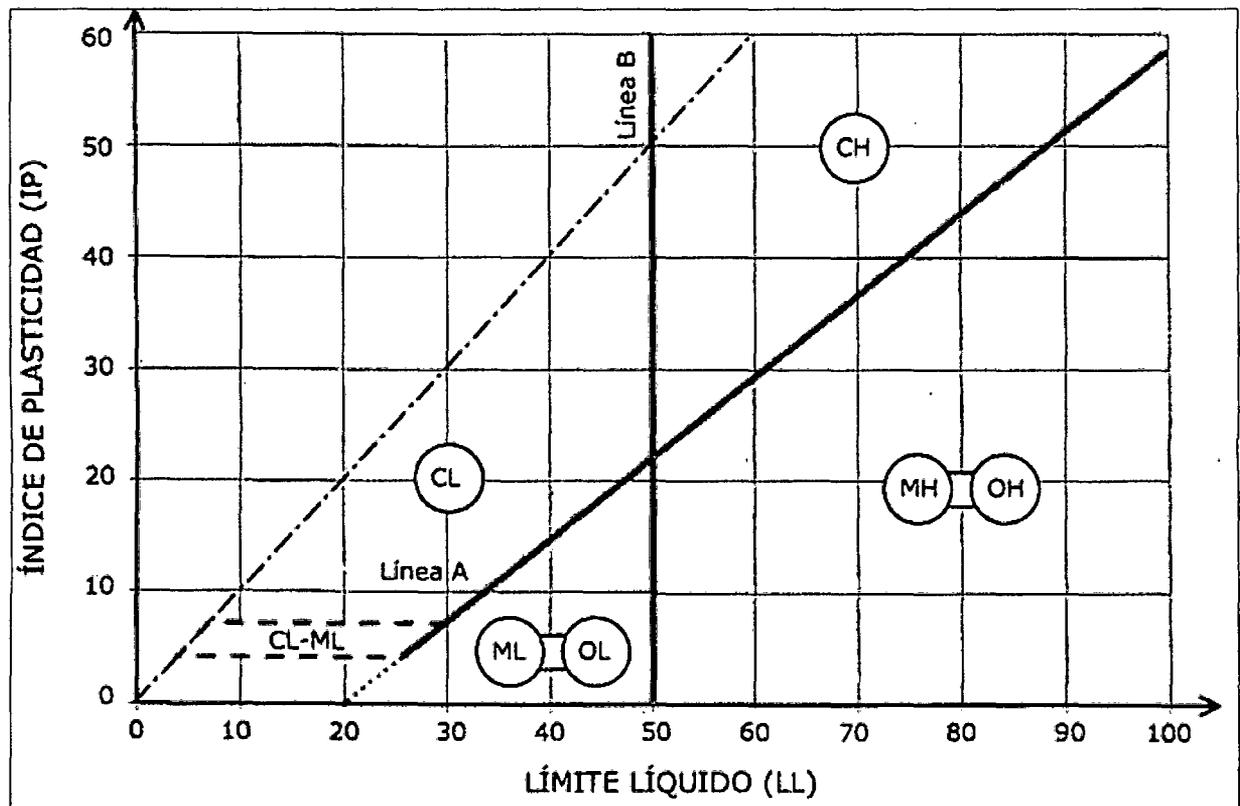


Fig. 2.3: Carta de Casagrande para suelos cohesivos. (B. Das 2002).

2.2.5. Consistencia y compacidad de suelos.

- Consistencia (Suelos Cohesivos)

Según Gonzales de Vallejo 2002, para suelos de grano fino, se describirá la consistencia de acuerdo al criterio dado en la Tabla 2.14. Esta observación no es apropiada para suelos que tengan cantidades significativas de grava.

Tabla 2.13: Criterios para la Descripción de la Consistencia. Adaptado de G. Vallejo 2002

Descripción	Criterio	VALOR N
Muy blando	El pulgar penetra el suelo más de 25 mm (>1"). El suelo se sale entre los dedos cuando se exprime	0 – 2
Blando	El pulgar penetrará el suelo 25 mm ($\leq 1"$). Suelo se moldea fácilmente con una ligera presión de los dedos.	2 – 4
Firme	El pulgar penetra el suelo alrededor de 6 mm ($\frac{1}{4}"$). Suelo se moldea mediante una fuerte presión de los dedos	4 – 8
Rígido	Se puede marcar con el dedo. El pulgar no ingresa al suelo	8 – 15
Muy rígido	La uña del pulgar ingresa fácilmente al suelo	15 - 30
Duro	La uña del pulgar difícilmente ingresa al suelo	>30

- Compacidad (Suelos Sin Cohesión)

Según G. Vallejo 2002, la compacidad de suelos sin cohesión (no plásticos) se describe en términos cualitativos dependiendo de los resultados de pruebas de penetración de campo. Los términos descriptivos empleados para describir la compacidad de suelos sin cohesión y su definición, dependiendo de los procedimientos de campo, se muestran en la *Tabla 2.15*.

Tabla 2.14: Compacidad de Suelos sin Cohesión. Adaptado de G. Vallejo 2002

Descripción	Identificación de campo	VALOR N
Muy suelto	Fácilmente penetrable con pala manual	0 – 4
Suelto	Fácilmente penetrable con un pedazo de hierro de ½ pulg., presionado manualmente. Excavación fácil con pala manual	4 – 10
Medio	Fácilmente penetrable con pedazo de hierro de ½ pulg., accionado por martillo de 5 lb. Difícil de excavar con pala manual	10 – 30
Denso	Un pedazo de hierro empujado en forma mecánica penetra 1 pie. Se debe soltar con pico para poder excavar	30 – 50
Muy denso	Un pedazo de hierro empujado en forma mecánica penetra sólo unas cuantas pulgadas. Muy difícil de excavar, incluso con pico	>50

2.2.6. Parámetros Resistentes de los Materiales de Cimentación

Los parámetros de resistencia cortante de los diferentes materiales presentes en la fundación de la Presa Principal han sido estimados en base a los resultados de los ensayos de resistencia a la penetración (SPT y LPT), correlaciones propuestas por Kishida (1969), Stroud (1974) y Wolf (1989).

Según Kishida H., 1969 se puede determinar el Ángulo de Fricción Interna (Φ) a partir de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT), mediante la siguiente fórmula:

$$\Phi' = 15 + [12.5 (N_1)_{60}]^{0.5}$$

Esta fórmula según lo que recomienda Kishida es aplicada sólo para limos y arcillas.

La correlación del ángulo de fricción interna para arenas y gravas respecto a los ensayos SPT según Wolf (1989) es según la siguiente correlación:

$$\Phi' = 27.1 + 0.3 (N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Para determinar la cohesión no drenada en arcillas (Ton/m^2) respecto a los ensayos SPT Stroud (1974), propuso la siguiente correlación:

$$C_u = 4.4 (N_{60})$$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- Relaves

Deshecho mineral y corresponde a una suspensión fina de sólidos en líquido, que proviene de la planta concentradora de minerales; con una distribución granulométrica que depende de las características mineralógicas del macizo rocoso explotado y del proceso de extracción del metal precioso. (MEM 2004).

- Presa de Relaves.

Es una obra que se construye para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de beneficio de minerales, principalmente por flotación. Está formada por un muro de contención, construido normalmente con la fracción gruesa del relave o por materiales de préstamo, y una cubeta. En la cubeta los sólidos finos sedimentan y en la superficie se forma una laguna de aguas claras (SERNAGEOMIN 2003).

- Depósitos de Relaves Espesados.

Eli I. Robinsky (1973), ha desarrollado un sistema de depósito que no requiere de un dique o muro contenedor para su construcción. El procedimiento se basa en la mayor viscosidad que alcanza la pulpa de relave al aumentar la concentración de sólidos. El autor propone una curva en que relaciona el ángulo de reposo del relave con el contenido de sólidos de la pulpa. Para concentración del orden de 53% en peso, la pendiente de reposo es del 2% y ésta aumenta hasta un 6% si la concentración sube a 65%. De esta manera pueden disponerse los relaves en forma de un cono cuya pendiente será la que corresponde a la respectiva concentración de sólidos.

- **Depósitos de Relaves Filtrados.**

Este tipo de depósitos de relaves es muy similar al de los relaves espesados, con la diferencia de que el material contiene menos agua debido al proceso de filtrado utilizando equipos similares a los que se emplean para filtrar concentrados, como son los filtros de prensa o de vacío. (Eli I. Robinsky 1973).

- **Roca**

Agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que habitualmente se consideran un sistema continuo, la proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura, y el origen sirven para su clasificación geológica (Gonzales de Vallejo 2002).

- **Suelo**

Agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas, separables por medios mecánicos de baja energía o por agitación en agua (Gonzales de Vallejo 2002).

- **Matriz rocosa**

También denominada Roca Matriz o roca intacta; 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 un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (Gonzales de Vallejo 2002).

- **Discontinuidad**

Cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que separa o independiza los bloques de la matriz rocosa en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción nula o muy baja. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno. (Gonzales de Vallejo 2002).

- **Macizo rocoso**

Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico. (Gonzales de Vallejo 2002).

CAPÍTULO III

GENERALIDADES

3.1. UBICACIÓN.

La Presa de Relaves Fraylones, se ubica dentro de la concesión del Proyecto Minero La Arena, entre los caseríos La Ramada, La Arena y La Florida, en el lugar denominado Fraylones, a 18 kilómetros al Sur- Suroeste de la ciudad de Huamachuco (Ver Plano N° 01), en la provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad.

El proyecto contempla la construcción de un depósito de relaves, ubicado en la quebrada Fraylones y su confluencia con la Quebrada La Florida, considerando la construcción de una presa para la depositación de relaves y su función es la retención de forma segura los relaves espesados durante la explotación de la Fase II del Proyecto Minero La Arena.

El ámbito del estudio comprende principalmente la parte baja de las subcuencas de las Quebradas Fraylones y La Florida, las cuales forman parte de la cuenca del río Yamobamba, que aguas abajo al unirse con el río Chinchircucho forman el río Sanagorán, el cual al unirse con el Río Grande forman el río Condebamba, que, conjuntamente con el río Cajamarquino forman el Río Criznejas, afluente del río Marañón en la vertiente del Océano Atlántico.

La presa Fraylones y su embalse se ubican dentro de las coordenadas detalladas en la *Tabla 3.1*. Sin embargo la presente investigación se centrará en la zona de cimentación de la presa, sin dejar de lado el análisis litomorfoestructural de las zonas aledañas.

3.2. ACCESIBILIDAD.

El acceso vial principal al proyecto lo constituyen los siguientes tramos: Lima – Trujillo, (vía asfaltada de 545 km.); Trujillo – La Arena (vía asfaltada en tramos de 184 km.), y La Arena - Fraylones (Trocha carrozable 3km.) Todo el trayecto suma un total de 12 horas, aproximadamente.

Desde Cajamarca se puede acceder mediante los siguientes tramos: Cajamarca – Cajabamba (Vía asfaltada doble carril 124km); Cajabamba – Huamachuco (Vía asfaltada un carril 60km.) Huamachuco - La Arena (Vía asfaltada 12km), La Arena – Fraylones (Trocha Carrozable 3km.) sumando el tiempo de viaje de todos los tramos sería 5.5 horas, aproximadamente.

Huamachuco también cuenta con una pequeña pista de aterrizaje para avionetas, el cual es utilizado por el ejército y avionetas privadas. Ver Tabla 3.2.

Tabla 3.1: Coordenadas del Límites del Dominio del Proyecto Presa de Relaves Fraylones.

Vértice	Coordenadas UTM (WGS 84 - 17S)		Lado
	Longitud	Latitud	
01	818250	9124500	Nor Este
02	818250	9122000	Sur Este
03	816000	9122000	Sur Oeste
04	816000	9124500	Nor Oeste

Tabla 3.2: Accesibilidad Terrestre a la Presa de Relaves Fraylones.

Desde	Tramo	Distancia (km)	Tipo de Vía	Tiempo (hrs)
Lima	Lima - Trujillo	545	Asfaltada	8
	Trujillo – La Arena	148	Semi-Asfaltada	4
	La Arena - Fraylones	3	Trocha Carrozable	0.25
Cajamarca	Cajamarca - Cajabamba	124	Asfaltada	3.0
	Cajabamba - Huamachuco	60	Asfaltada	1.5
	Huamachuco - La Arena	12	Asfaltada	0.5
	La Arena - Fraylones	3	Trocha Carrozable	0.25

3.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.

La Arena actualmente viene desarrollando la explotación de óxidos de oro en los tajos Calaorco y Ethel; asimismo se tiene programado para fines del 2014 iniciar el desarrollo de la fase II, que consiste en la explotación del pórfido de cobre y oro (Cu-Au) albergados en stock de dacitas; para lo cual es necesario construir un depósito en el cual se puedan depositar 57 M-m³ de relaves espesados provenientes la planta de tratamiento de sulfuros.

3.4. CLIMA.

La caracterización de las condiciones climatológicas en el área de estudio, se ha realizado en base a la información de las estaciones convencionales administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), que son las de Cajabamba, Huamachuco, y Santiago de Chuco; siendo la estación de Huamachuco la de mayor información disponible. El clima se caracteriza por tener dos estaciones muy marcadas una seca y otra húmeda; la estación seca entre los meses de mayo a septiembre, siendo los meses julio y agosto los más secos y la estación húmeda entre los meses de octubre – abril, siendo los meses de diciembre, enero, febrero y marzo los meses donde se tiene mayor humedad.

a. Temperatura.

En el Perú, las temperaturas tienen un comportamiento asociado particularmente con la altitud. En general se espera que se presente un gradiente de temperatura de 0.8 °C por cada 100 metros de desnivel.

Para el proyecto con la información de temperatura y altitud de las estaciones más cercanas se determinó que el gradiente de temperatura es 0.79 °C por cada 100 metros de desnivel. Se tomó como representativa la información de la estación Huamachuco por estar más cercana geográfica y altitudinalmente, analizando la información se tiene:

A nivel multianual (1977 – 2008) la temperatura promedio fluctúa entre 10.8 °C (abril 1977) a 14.6 °C (enero 2007). La temperatura media de la zona del

proyecto, de acuerdo con su altitud, es de 11.7 °C. Los promedios mensuales varían entre los 11°C y 12°C, presentándose los menores valores en los meses de junio y julio. Ver *Tabla 3.3*.

Tabla 3.3: Estimación de Variación de Temperaturas Mensual °C (1977 – 2008).

Estación	Temp.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Huamachuco (3290 msnm)	Media	12.4	12.4	12.4	12.6	12.6	12.2	12.0	12.6	12.9	12.7	12.5	12.5	12.5
	Mínima	11.1	11.1	11	10.8	11.7	11.2	10.9	11.6	11.8	11.8	11.5	11.6	11.8
	Maxima	14.6	13.9	13.6	13.8	13.8	13.6	13.4	13.2	13.8	13.8	13.3	13.6	13.1
Presa Fraylones (3400msnm)	Media	11.6	11.6	11.6	11.8	11.8	11.4	11.2	11.8	12.1	11.9	11.7	11.7	11.6
	Mínima	10.4	10.4	10.3	10.1	10.9	10.5	10.2	10.9	11.0	11.0	10.8	10.9	11.0
	Maxima	13.7	13.0	12.7	12.9	12.9	12.7	12.5	12.3	12.9	12.9	12.4	12.7	12.3

Fuente: SENAMHI 2010

b. Humedad relativa.

Evaluando la relación entre la humedad relativa registrada en estas estaciones y la altitud a la cual se ubican, se confirma que el valor de la humedad atmosférica está en función inversa de la altitud.

Dada la cercanía geográfica y similar altitud entre la zona del proyecto y la estación Huamachuco, se considera sus registros válidos para caracterizar la humedad relativa en la zona del proyecto.

De acuerdo con los datos de la estación Huamachuco, la humedad relativa media anual es 83%. La fluctuación estacional de la humedad es relativamente baja, variando de 77% hasta 88%, siendo de octubre a abril los meses en los que se presentan los valores más altos (correspondiente a la época húmeda), y los valores más bajos corresponden al período entre mayo a septiembre (época seca). Ver *Tabla 3.4*.

Tabla 3.4: Estimación de Variación de Humedad Relativa Promedio Mensual % (1977 – 2008).

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Huamachuco (3290 msnm)	85	87	88	87	83	80	78	76	79	83	83	84	83
Presa Fraylones (3400msnm)	85	88	88	87	83	80	78	77	79	83	84	84	83

Fuente: SENAMHI 2010.

c. Dirección del Viento.

Los registros de viento para el periodo 2004-2008, en la estación meteorológica Huamachuco fluctuaron entre 2,9 m/s y 5m/s con la dirección predominante del Oeste.

d. Evaporación anual.

La estación Huamachuco fue seleccionada como base para caracterizar la evaporación en la zona del proyecto, considerando la longitud de su registro (1965-2011), su proximidad geográfica a la zona del proyecto) y su similitud altitudinal. El registro de la estación Huamachuco fue completado utilizando los datos de las estaciones Santiago de Chuco y Cajabamba.

En base a estos datos, se estima el valor de la evaporación promedio anual en 733mm, y, a su vez, el máximo y mínimo valor anual del registro en 1029 y 555 mm, respectivamente. La evaporación media mensual presenta sus menores valores entre diciembre y abril (de 36 a 48 mm), mientras que de junio a septiembre se registran los mayores valores, entre 70 y 94 mm.

3.5. PRECIPITACIÓN.

Con el propósito de establecer los valores de precipitación media anual y máxima en 24 horas para el área del proyecto, fueron seleccionadas las estaciones pluviométricas más cercanas con la finalidad de contar con información que permita obtener, con aproximación adecuada, el régimen de precipitaciones y los valores más representativos de las tormentas que se pueden presentar en la zona.

Los registros muestran que el período de mayores precipitaciones corresponde entre octubre y abril, concentrando 82% de la precipitación total anual. La época seca o de estiaje corresponde al resto del año (mayo a septiembre).

La información pluviométrica ha sido obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI); de estudios previos del

proyecto elaborado para LASA y otros estudios elaborados por Golder; los resultados se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Estimación de Variación de la Precipitación Promedio Mensual y Anual mm. (1941 – 2011).

Estación	Precip. (mm)	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	Total
Shorey (1941 – 2008)	Media	166	203	231	178	81	36	19	24	75	140	115	133	1400
	Máxima	371	463	376	311	199	102	70	89	197	266	244	242	1907
	Mínima	53	51	99	69	15	00	00	00	00	26	05	00	955
Huangacocha (1968 - 2011)	Media	142	173	219	170	70	32	19	13	55	159	145	169	1371
	Máxima	336	718	786	511	306	178	147	94	274	510	554	502	3336
	Mínima	00	00	00	00	00	00	00	00	00	10	02	00	410
Huamachuco (1965 - 2011)	Media	121	156	166	104	43	20	11	13	42	104	96	116	994
	Máxima	251	386	293	231	120	50	47	55	115	220	188	230	1464
	Mínima	15	40	22	28	03	00	00	00	01	18	27	00	687
Huancamarcang a (1972 – 2011)	Media	116	158	191	99	36	16	09	10	31	65	68	90	892
	Máxima	326	405	681	348	119	43	27	44	146	271	285	247	1744
	Mínima	05	14	12	03	04	00	00	00	00	04	11	00	128
Cachicadan (1964 – 2011)	Media	128. 5	159. 9	172. 7	101. 8	34.4	16.0	7.3	8.7	30.6	67.0	63.1	95.4	896.0
	Máxima	340. 4	449. 4	373. 3	279. 6	99.5	156	38	38.5	91.4	181. 3	220. 7	328. 3	1883. 7
	Mínima	17.2	7.5	19	00	00	00	00	00	00	00	00	00	144.6
Cajabamba (1964 – 2011)	Media	118. 6	141. 2	163. 0	105. 9	37.8	13.1	10. 4	9.7	44.5	103. 9	99.0	115. 1	976.1
	Máxima	261. 2	319. 7	329. 5	216. 5	118. 6	45.9	41. 5	44.3	106. 1	202	211. 2	287. 8	1652. 3
	Mínima	40.1	21.8	44.6	6.8	02	00	00	00	00	5.5	18.6	00	301
Cachachi (1973 – 2011)	Media	99	147	173	108	28	06	04	03	34	77	83	96	858
	Máxima	342	432	753	320	67	58	46	19	116	195	353	287	1514
	Mínima	00	00	03	00	00	00	00	00	00	00	00	00	160

Fuente: SENAMHI 2012

3.6. FISIOGRAFÍA.

Fisiográficamente se sitúa en la vertiente oriental de la cadena occidental de la cordillera de los Andes. Altitudinalmente el área se desarrolla sobre los 3300 y 3600 msnm. El área de cimentación de la presa consiste de terrazas fluviales formada aguas debajo de la presa por el río Yamobamba y agua arriba del eje de la presa por las quebradas Fraylones y la florida.

A ambos lados al Noreste y suroeste se tiene dos colinas de moderada pendiente controladas por secuencias de arenisca cuarzosas, escasos horizontes de carbón, lutitas y limolitas.

3.7. DRENAJE.

El área donde se tiene previsto construir la presa, está ubicada en la subcuenca de la Quebrada Fraylones conformado por la confluencia de las quebradas Fraylones y La Florida, afluentes del Río Yamobamba, que al unirse con el Río Chinchircucho forman el Río Sanagorán que al unirse con el río Grande forman el río Condebamba. Aguas abajo el río Condebamba se une al río Cajamarquino formando el río Criznejas, uno de los afluentes principales del Río Marañón perteneciente a la vertiente del Atlántico. La red de drenaje observada es del tipo dendrítico.

3.8. SISMICIDAD.

La provincia de Huamachuco se considera como una zona bastante estable a la actividad sísmica, según los registros históricos de sismicidad en el área, desde varios siglos atrás, sólo se tiene referencia de tres sismos que causaron destrucción (Alva 1984)

Según Golder 2012, el área de estudio, según la zonificación sísmica considerada está ubicada en la zona 3. a la que le corresponde un factor de aceleración sísmica máxima de 0,4 en promedio, con la ocurrencia mayoritaria de sismos que llegaría a ser leves (sismos con intensidades de de grado VII-VIII de la Escala de Mercalli). Se puede considerar en esta zona como de moderada sismicidad.

CAPÍTULO IV GEOMORFOLOGÍA.

La zona Fraylones es una sub-cuenca en la que confluyen las quebradas Fraylones y La Florida. Específicamente el área se encuentra entre la sub-cuenca del río Yamobamba en su margen izquierda, en una terraza de origen fluvial a 3300m.s.n.m., cerrada hacia el noreste y sureste por dos colinas de moderada altitud (Cerro La Arena y Cerro La Florida) comunicándose con el río Yamobamba por un valle que tiene unos 400 m de ancho aproximadamente. *Ver Foto 01.*

El embalse seleccionado para el depósito de relaves es amplio, con una extensión longitudinal NO-SE de 3.7 km y un ancho de 1.4 km en dirección NE-SO (se considera hasta la cota 3440 msnm), con laderas cuyas pendientes están en promedio por el orden de los 30%. La cabecera del valle, que corresponde al lado Oeste del vaso presenta flancos de relieve moderado cuya cima es una superficie suave modelada sobre los afloramientos de tobas de la formación Fraylones, las cuales están dispuestas en capas sub-horizontales. En el fondo del valle, los terrenos son anegadizos cubiertos por humedales bien desarrollados, que yacen sobre depósitos fluviales sedimentados por el río Yamobamba, las quebradas Fraylones y La Florida. *Ver foto 01, 03 y 05.*

El lugar de cimentación de la presa Fraylones corresponde a un abra formada sobre una configuración alineada de lomadas, en ellas sobresalen crestas de areniscas cuarzosas de la formación Chimú con estratos que buzan hacia el NE. El abra tiene una sección simétrica y una extensión aproximada de 400 m, los flancos tienen pendientes de 20° y 25°. Las pendientes de las paredes laterales del lado Este alcanzan los 25° y las lomadas del lado Oeste; hacia el depósito de relaves, alcanzan los 20° de pendiente. *Ver foto 02.*

Los alineamientos de las crestas conformadas por los estratos de areniscas cuarzosas que, buzan hacia el NE, presentan relieves abruptos en la cresta y paredes de pendiente pronunciada en los taludes del flanco Este del río Yamobamba y un relieve más suave hacia las quebradas Fraylones y La Florida. Se observan además cárcavas y depósitos de escombros en la zona del cierre y

hacia la parte que mira a la quebrada Fraylones, las cárcavas siguen lineamientos estructurales.

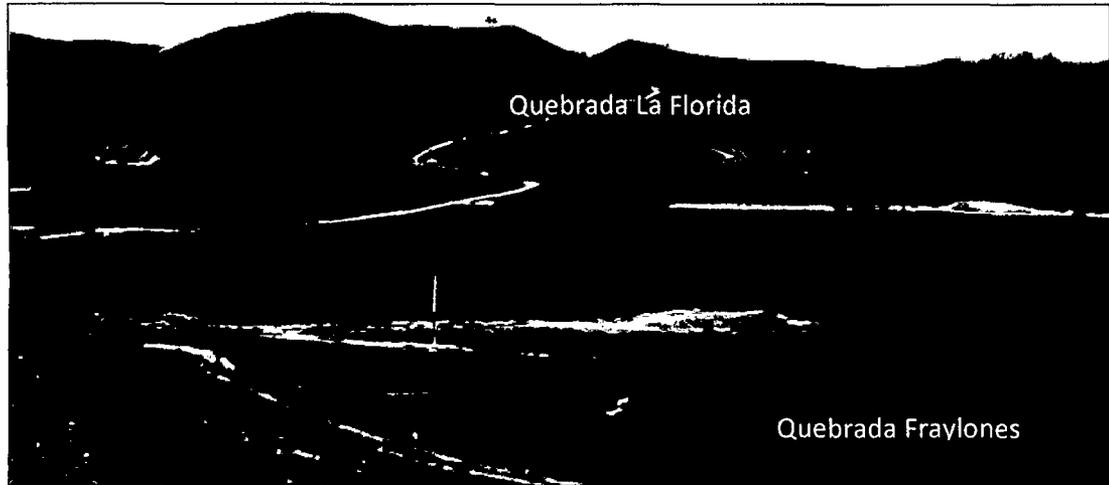


Foto 01: Planicies, lomadas y laderas en la Zona de Embalse de la Presa y Estribo Derecho.

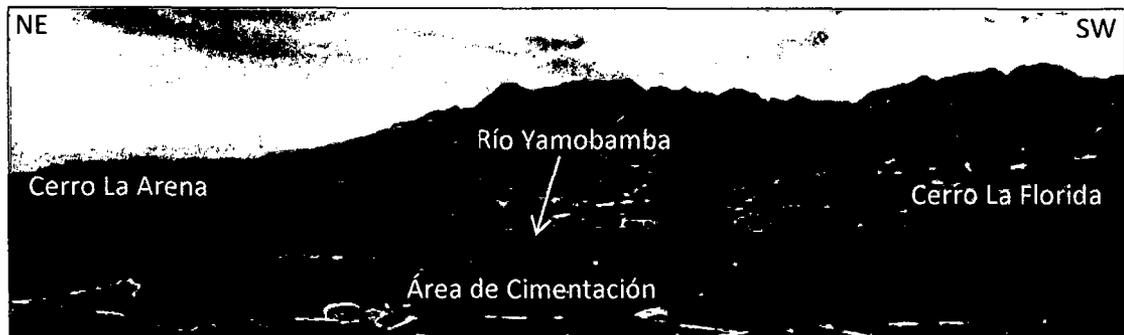


Foto 02: Laderas y lomadas en ambos flancos en eje de la presa.

Se realizó la zonificación geomorfológica altitudinal y la zonificación geomorfológica por pendientes (Ver planos 04, 05 y 06). Los rangos de las pendientes se realizaron de acuerdo a la tabla 4.1. Obteniéndose las siguientes unidades geomorfológicas.

Tabla 4.1: Rangos de Pendientes y Unidades Geomorfológicas..

N°	Pendiente (°)	Unidad Geomorfológica
1	0 - 8	Planicies
2	8 - 25	Lomadas
3	25 - 50	Laderas
4	> 50	Escarpas

Fuente: R. Rodriguez 2014.

4.1. PLANICIES.

Se encuentra en la parte central del eje de la presa, fue formada por varias etapas de depositación de sedimentos arrastrados por el río Yamobamba y las quebradas Fraylones y La Florida, tiene pendientes menores a ocho grados (8°) principalmente se encuentran entre los 3000 y 3310m.s.n.m. Ver Fotos 01 y 04.

4.2. LOMADAS.

Ubicada principalmente en las partes bajas de los cerros La Arena y La Florida, están controlados por depósitos coluvio – aluviales; también se observa en las laderas de la zona de embalse en cuyos lugares están controlados por depósitos eluviales producto de la meteorización de lutitas, limolitas, areniscas, tobas y brechas volcánicas. Tienen pendientes que van desde los ocho (8°) hasta los veinte y cinco (25) grados. Se puede observar que esta unidad predomina entre los 3310 y los 3360 m.s.n.m. Ver Fotos 01, 02, 03 y 04.

4.3. LADERAS.

Pendientes entre veinte y cinco (25°) y cincuenta (50°) grados, se puede observar esta unidad principalmente en las partes medias a altas de los cerros La Arena y La Florida, controlados por rocas areniscas cuarzosas; también se puede observar en las partes altas de las quebradas Fraylones y La Florida controlados por tobas y brechas volcánicas. Esta unidad se ha observado que se ubica en altitudes mayores a 3360 m.s.n.m. Ver Fotos 01, 02 y 04.

4.4. ESCARPAS

Pendientes mayores a cincuenta grados (50°), se puede observar pequeñas zonas de esta unidad geomorfológica, principalmente en los cerros La Arena y La Florida.

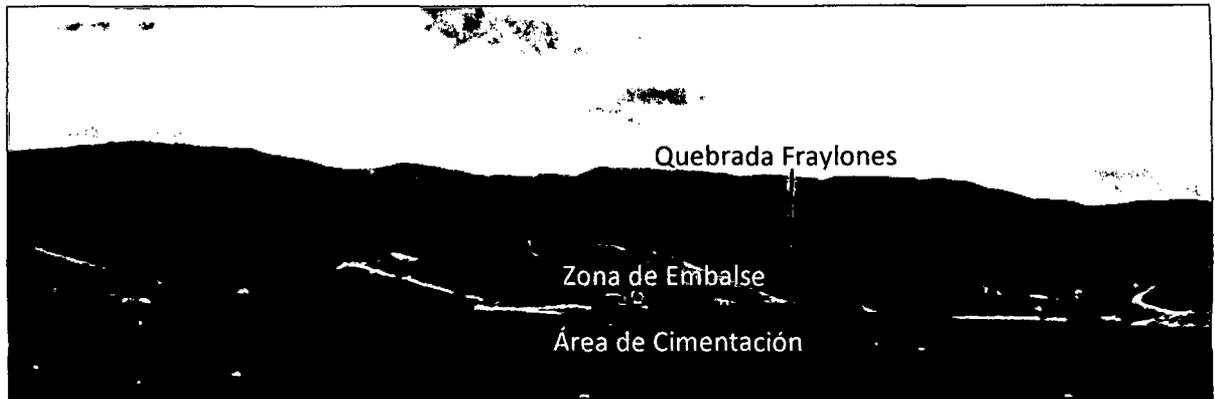


Foto 03: Lomadas en la Zona de Embalse de la Presa Tomada desde la Zona de Cimentación.

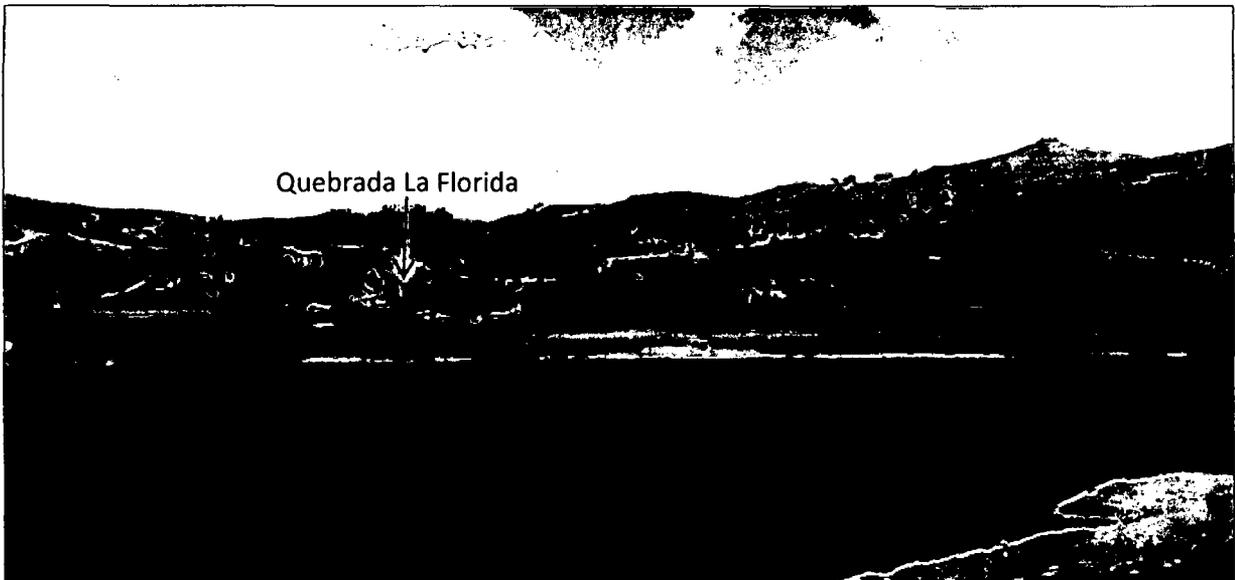


Foto 04: Lomadas en la Zona de Embalse de la Presa Tomada desde la Zona de Cimentación.

CAPITULO V

GEOLOGÍA.

5.1. GEOLOGÍA REGIONAL.

El contexto geológico regional del área del proyecto es descrito teniendo como referencia el Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cajabamba, Hoja 16-g, escala 1: 100 000 y el Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cajabamba, Hoja 16-g-II, escala 1: 50 000, correspondientes al Boletín N° 31 de la Carta Geológica Nacional: Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, elaborado por el INGEMMET, 1980.

El medio litoestratigráfico en la región está formado en la base por rocas sedimentarias que en edad comprenden desde el Jurásico Superior hasta el Cretáceo Superior, que son las formaciones: Chicama, Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo. Sobre la secuencia sedimentaria se emplazan rocas volcánicas piroclásticas del Paleógeno - Neógeno, correspondientes al Grupo Calipuy, constituidas en general por tobas andesíticas y dacíticas. Los depósitos cuaternarios regionalmente están representados en su gran mayoría por depósitos glaciares en forma de morrenas, depósitos fluviales, aluviales y eluviales.

Toda la secuencia de rocas sedimentarias está intensamente plegada, siguiendo la dirección andina NO-SE y están afectadas por fallas regionales de orientación NO-SE, así como por fallas transversales.

También encontramos pliegues y estratos volcados y con buzamientos invertidos con respecto a la secuencia normal.

a. Formación Chicama (Js-chic).

Formación geológica del Jurásico superior, litológicamente se puede determinar por la predominancia de lutitas negras laminares y limolitas deleznales, con delgadas intercalaciones de areniscas grises.

Las rocas de la formación Chicama son blandas, debido a la cantidad de material limo arcilloso lo que han favorecido el desarrollo de una topografía suave.

Como en otras partes, en el área estudiada, no se ha podido determinar la base de la formación Chicama, se supone que descansa discordantemente sobre las calizas del grupo Pucará u otras formaciones. Su contacto superior es generalmente de aparente conformidad con la formación Chimú, siendo más probable una discordancia paralela. Se estima que tiene un grosor de 800 a 1000 metros.

b. Formación Chimú (Ki-chi).

Unidad geológica del Cretáceo inferior, sobreyace a la formación Chicama e infrayace a la formación Santa.

Se compone principalmente de areniscas, de grano medio a grueso, de coloración gris blanquecino, con espesores de estratos variables de medios hasta estratos bastante gruesos, con intercalaciones de horizontes lutáceos de color negro, que contienen en la parte inferior capas de carbón. La parte media consiste de lutitas con presencia de oxidación, con intercalaciones de areniscas. La parte superior es mayormente de areniscas y cuarcitas.

c. Formación Santa (Ki-Sa).

La formación Santa sobreyace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz con discordancia paralela en ambos casos tanto en la base como en el techo.

Litológicamente consiste en una intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras. El cambio de facies es notable según los lugares; en algunos predomina el contenido calcáreo y en otros el contenido lutáceo y arenoso, esto se debe a la geometría de la Cuenca. La formación Santa intemperizada generalmente presenta un tono gris marrón.

d. Formación Carhuaz (Ki-ca).

La Formación Carhuaz suprayace con suave discordancia a la formación Santa e infrayace concordantemente a la formación Farrat.

Está compuesta, en su parte inferior, por lutitas fosilíferas, con intercalaciones de areniscas, yeso en estratos y estratos delgados de calizas. La parte superior es areno- lutácea. Es de ambiente mayormente continental, pero posee calizas y lutitas que son indicativos de mares someros y también de condiciones salobres.

e. Formación Farrat (Ki-f).

La formación Farrat suprayace concordantemente a la formación Carhuaz e infrayace en discordancia paralela a la formación Inca. Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del cretáceo inferior.

Consiste de areniscas cuarzosas gris blanquecinas de grano medio a grueso. Tiene un espesor variable pero se le asume 500 metros. También es notorio la presencia de estratificación sesgada y marcas de oleaje. En algunos niveles son bastante pareados a las areniscas de la formación Chimú.

f. Formación Inca (Ki – in).

Litológicamente esta formación consta de areniscas calcáreas y/o calizas arenosas de coloración rojiza intercaladas con lutitas, limonitas ferruginosas dando a los afloramientos una coloración rojiza amarillenta, característica principal que diferencia a los afloramientos de esta formación frente a los de otras formaciones.

g. Formación Chúlec (Ki – chu).

Esta formación consiste en una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Generalmente los bancos de margas se presentan

muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos algo azulados. Su grosor varía de 200 a 250 m.

h. Formación Pariatambo (Ki – pa).

Consiste en una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Su espesor varía entre 150 a 200 m.

i. Grupo Calipuy (PN- ca).

Los depósitos volcánicos del Grupo Calipuy sobreyacen en discordancia angular a la secuencia sedimentarias. Estas rocas fueron emitidas por diversas estructuras eruptivas como centros volcánicos (estratovolcanes), campos de domos volcánicos y calderas volcánicas. La gran mayoría de los depósitos generados por los distintos centros de emisión representan principalmente actividades explosivas de manera intensa pero intermitentes, deducido a partir de la existencia de abundantes secuencias volcanoclásticas que forman cuencas sinorogénicas y que constituyen parte de la Cordillera Occidental del Norte del Perú.

j. Depósitos Cuaternarios.

Los depósitos del cuaternario, a nivel regional, los que tienen mayor relevancia son las morrenas, las cuales cubren la ladera de la margen derecha del río Yamobamba a partir de la quebrada que descarga la laguna Singacocha hacia aguas arriba. Están constituidos por gravas y cantos subangulosos de areniscas, dacitas, cuarcitas y lutitas pizarrosas con matriz arenoarcillosa de plasticidad baja; también se pueden observar depósitos fluviales formando terrazas y terrenos anegadizos (humedales) en la margen izquierda del río Yamobamba; depósitos eluviales como resultado de la meteorización de las diferentes unidades de roca; así como depósitos coluviales en las faldas de los cerros y laderas.

5.2. UNIDADES INGENIERO GEOLÓGICAS.

La geología local comprende las unidades de suelo y roca en la zona de cimentación y embalse de la Presa de Relaves Fraylones, y se pueden observar en el *Plano N° 03*, describiéndose según su antigüedad.

5.2.1. Unidades de suelo.

Las unidades de suelo comprenden los diferentes materiales producidos por la acción fluvial tales como los depósitos fluviales, suelos orgánicos (humedales), movimientos en masa considerando los coluvio - aluviales antiguos y coluvio - aluviales recientes, así como los depósitos de suelos residuales (eluviales).

a. Depósitos de humedales.

Corresponden a la capa de turba, constituidos por suelos orgánicos limo-arcillosos de color marrón oscuro a negro, consistencia blanda y compresible. Se encuentran en la parte de la unión de las quebradas Fraylones y La Florida, y en la zona del eje de la presa proyectada. Las investigaciones indican en general que los espesores de los depósitos de humedales están mayormente en el orden de 1 a 2 m, llegando hasta los 3.0 m de espesor en el sector del eje de la presa. *Ver Foto 05.*



Foto 05: Humedales en el Área de Cimentación. Eje de la presa.

b. Depósitos fluviales.

Estos depósitos se encuentran en toda la parte plana del valle, debajo de los humedales, a ambos lados de las quebradas Fraylones y La Florida, hasta la desembocadura en el río Yamobamba. Ver Foto 06.

Consiste de una secuencia de gravas y cantos subredondeados a redondeados, en una matriz areno-limosa, aumentando el diámetro de las partículas aguas debajo del eje de la presa.

Las investigaciones determinan que el espesor de este depósito puede llegar hasta los 60m aguas arriba del eje de la presa y 80 o 90m agua abajo del eje de la presa, es muy variable tanto vertical como horizontalmente en cuanto a sus componentes.

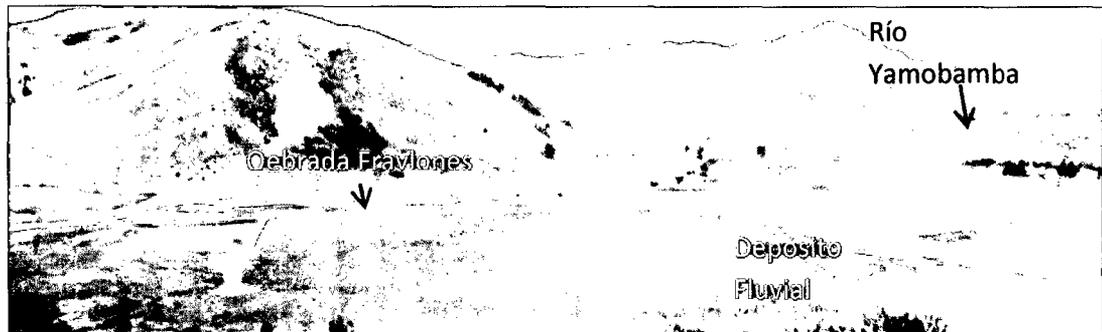


Foto 06: Terraza Fluvial del Río Yamobamba Eje de Presa y Agua Abajo.

c. Depósitos coluviales.

Estos depósitos se encuentran principalmente al pie de las laderas de los cerros en donde afloran las areniscas cuarzosas y cuarcitas, y en menor medida en los cerros con tobas y brechas volcánicas. Están constituidos por gravas y cantos angulosos y sub-angulosos con bloques, en una matriz areno limosa, en conjunto poco denso. Ver Foto 08. En el cerro que colinda con la parte baja de la quebrada Fraylones y en los estribos del eje de la presa, se observa conos de escombros regularmente desarrollados, principalmente en el estribo izquierdo donde según investigaciones llega a los 12m de espesor en su parte central. Ver Foto 07.

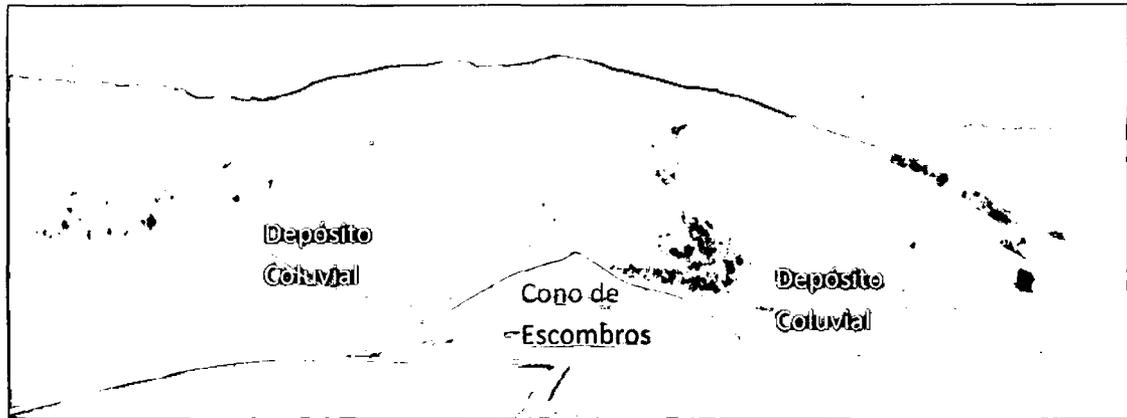


Foto 07: Depósitos Coluviales Estribo Izquierdo.

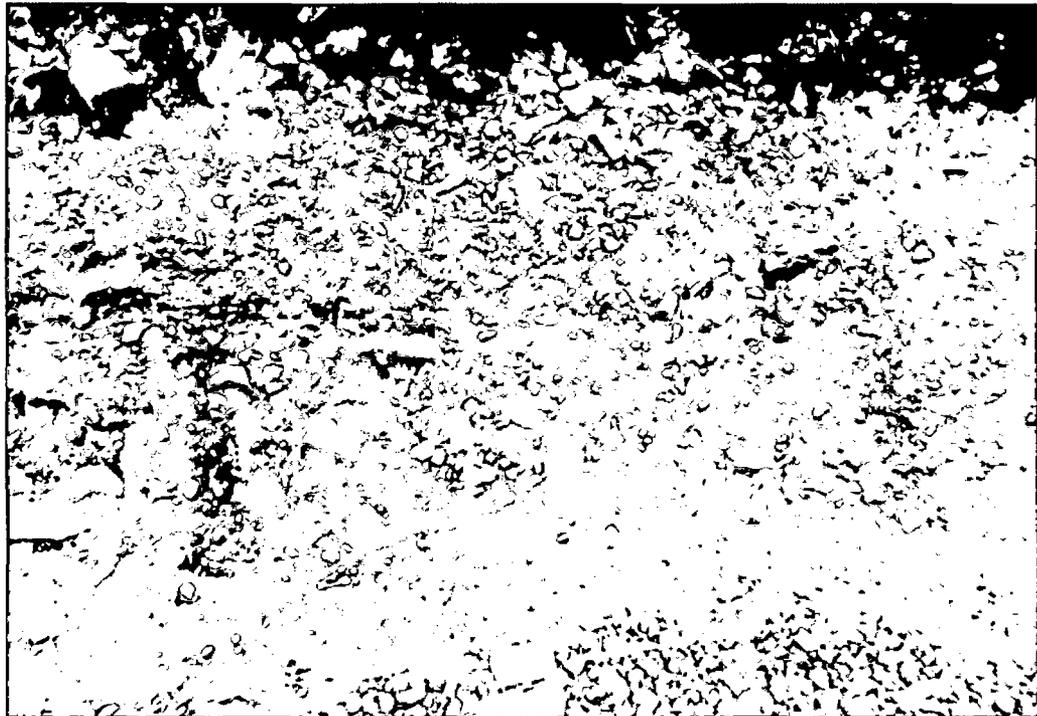


Foto 08: Granulometría y Angulosidad de Partículas Depósitos Coluviales Estribo Izquierdo.

d. Depósitos eluviales.

Con esta designación se ha identificado principalmente a los depósitos superficiales que se encuentran en las crestas y laderas de los cerros que circundan los bordes del vaso. Los depósitos eluviales corresponden a los suelos residuales producto de la meteorización de las rocas de basamento, así como a los derivados de la alteración hidrotermal que afecta algunas zonas, de las tobas, las areniscas y limolitas. Están constituidos básicamente

por limos arcillosos con gravas y arena, medianamente compactos. El espesor de estos suelos se estima en los 2 m.

Hacia la parte alta de la quebrada Fraylones, sobre su margen izquierda que corresponde al borde izquierdo del vaso, también se puede observar la existencia de suelo eluvial provenientes de la degradación de las areniscas, limolitas y lutitas, originando suelos areno limosos con poca grava y de poco espesor comparado con aquellos formados en las areniscas cuarzosas, cuarcitas o los formados en las rocas volcánicas.

5.2.2. Unidades de roca.

Las unidades de rocas reconocidas y relacionadas al proyecto forman parte de la secuencia clástica del Cretáceo Inferior. A estas unidades sobreyacen tobas y brechas del Neógeno.

a. Areniscas cuarzosas.

Comprende a las areniscas cuarzosas con delgadas intercalaciones de limolitas. Esta secuencia se manifiesta al Este de las quebradas Fraylones y La Florida, en la zona del futuro cierre de presa a ambos lados donde se ubicarán los estribos.

La arenisca cuarzosa es gris blanquecina, de grano medio a grueso y con laminaciones. Se disponen en capas de grosor variable entre los 0.15 m hasta 1.2 m. La secuencia en el sector Este, en dirección hacia el río Yamobamba contiene estratos delgados de limolitas de color amarillo y naranja, las cuales acompañan a 03 niveles de carbón de tipo antracítico. Las capas de carbón presentan continuidad longitudinal, con espesores variables entre 0.5 m hasta 1m. *Ver Fotos 09 y 10.*

La secuencia de areniscas, en general tienen una orientación que varía entre N 315°-325° con buzamientos variables entre 48° y 74° al NE. La secuencia se presenta con un fracturamiento moderado a intenso en esta zona. En algunas zonas se observa fracturamiento muy fuerte de la roca, relacionado a la presencia de venillas de cuarzo, brechas hidrotermales y de contacto,

así como a una silicificación de origen hidrotermal. En estas zonas la roca se presenta extremadamente fracturada, triturada incluso llegando a ser brechada.

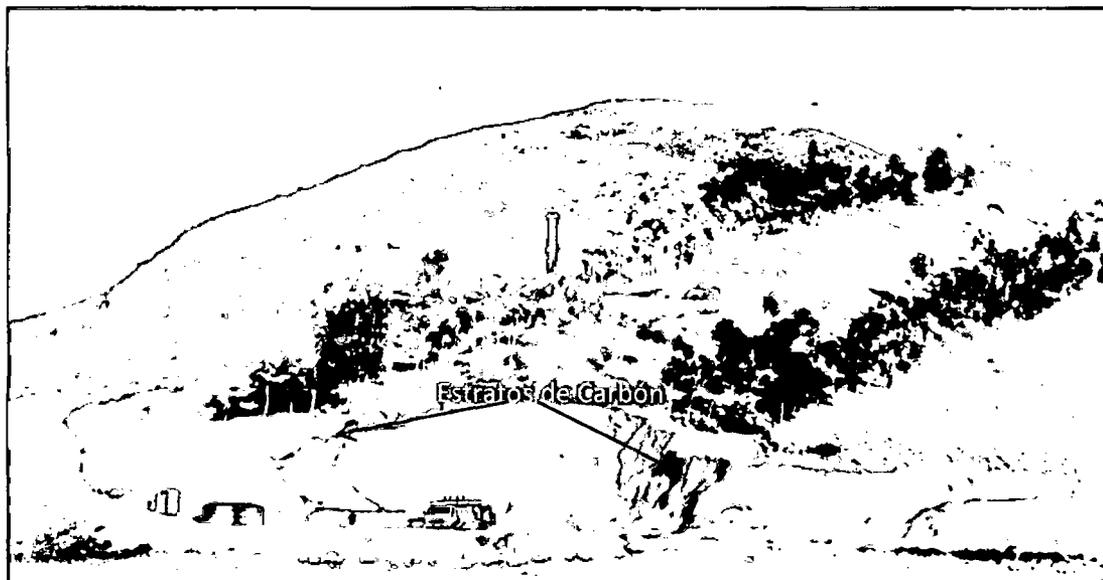


Foto 09: Arenisca Cuarzosa y dos Capas de Carbón en el Estribo Derecho.

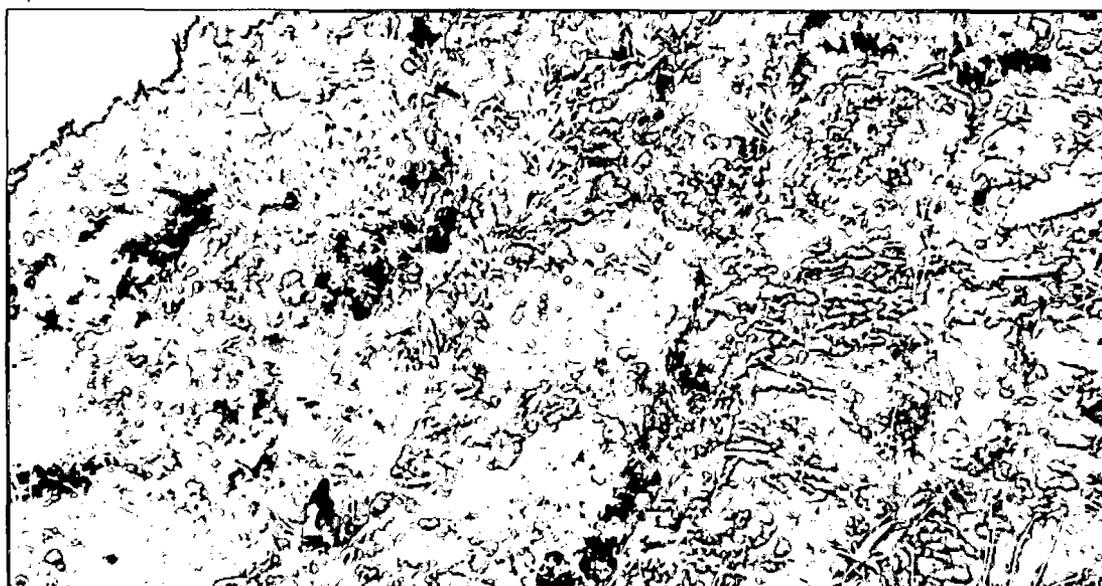


Foto 10: Arenisca Cuarzosa - Estribo Derecho.

b. Areniscas, limolitas y lutitas.

Son capas intercaladas de poco grosor (menores a 20 cm.) compuestas en la base (contacto con las areniscas cuarzosas) por lutitas y limolitas de color

gris claro, amarillo y pardo rojizo, moderadamente fracturadas y muy fisibles, e intercaladas con delgados paquetes de lutitas carbonosas de color gris oscuro. Hacia la parte superior, en la quebrada Fraylones, se observa que la secuencia de limolitas y lutitas se intercala con paquetes delgados de areniscas calcáreas blancos grisáceos, moderadamente fracturados.

Otra secuencia correspondiente a esta unidad, observado en la parte alta de la quebrada Fraylones, cerca del límite del vaso, corresponde a una intercalación de limolitas amarillas y areniscas de color gris claro en paquetes delgados de hasta 10 cm, formando un sinclinal y dos anticlinales, con direcciones de N 325°, 60° SO en las proximidades del contacto con las areniscas cuarzosas en el cierre de la presa y N 335°, 55° SO en la zona del límite del vaso. El buzamiento de las capas se va elevando hasta niveles sub-verticales en los ejes de los pliegues.

El fracturamiento de las rocas es moderado a fuerte. Esta secuencia se considera que es parte de la formación Santa y parte de la formación Carhuaz. *Ver Foto 11.*

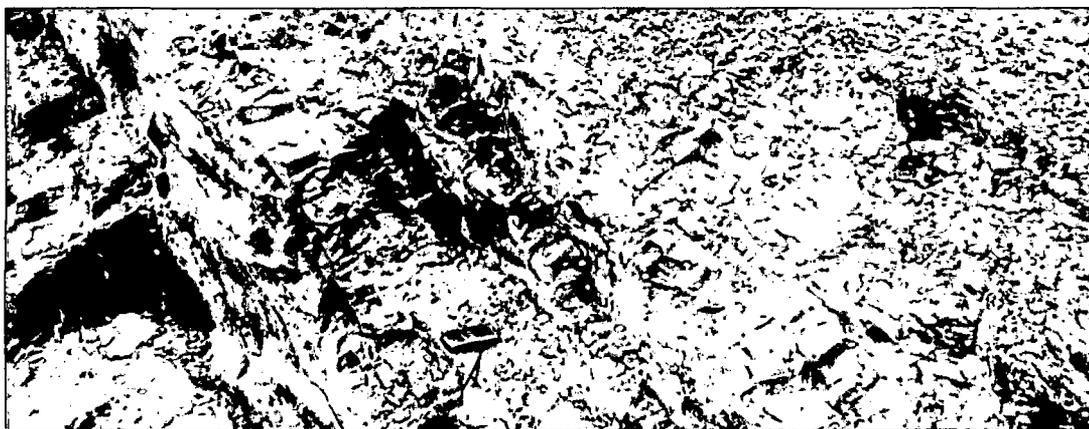


Foto 11: Intercalación de Areniscas Limolitas y Lutitas - Zona de Embalse.

c. Tobas y brechas volcánicas.

Conformada por capas de tobas volcánicas de composición andesítica y dacítica, de color blanco amarillento a gris blanquecino, y resistencia baja a muy baja. Se disponen formando relieves suaves y ondulados, extendiéndose en la zona del vaso y de manera más conspicua entre las

quebradas Fraylones y La Florida, donde sobresalen como pequeñas crestas compuestas por tobas de mayor grado de litificación con respecto al resto del afloramiento. Ver Foto 12. En las quebradas la erosión diferenciada del agua y el viento ha propiciado la formación de estructuras tipo “fraylones” (estructuras verticales aisladas de forma antropomorfa).

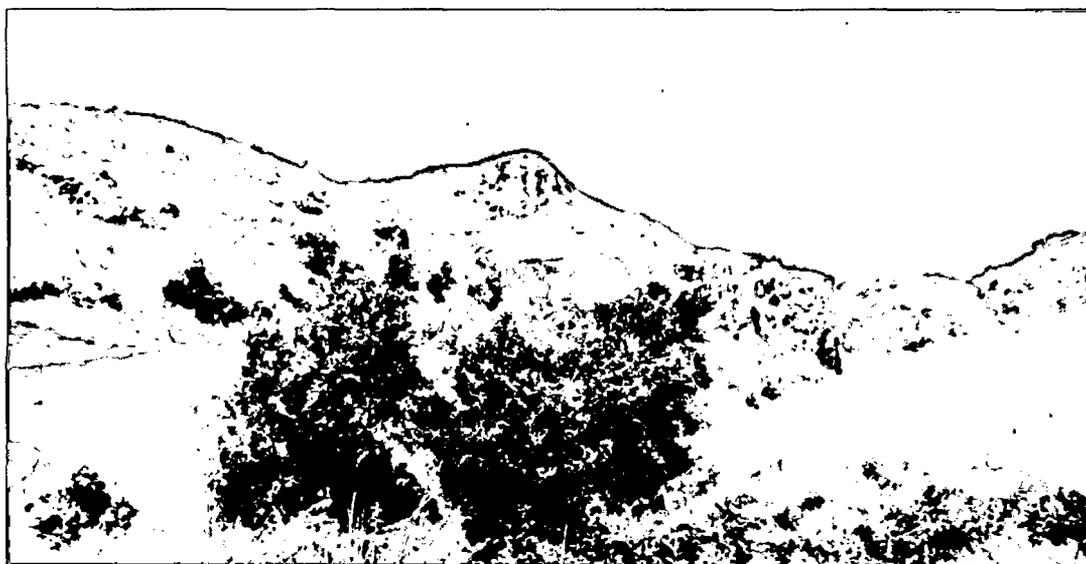


Foto 12: Tobas y Brechas Volcánicas - Parte alta Quebrada Fraylones.

Las tobas están compuestas mayormente de plagioclasas, minerales ferromagnesianos y muy poco cuarzo, lo que da origen a suelos arcillosos y limosos ricos en óxidos de hierro. Por zonas se observan que las tobas engloban lava y tobas más antiguas de composición mayormente andesítica, formando brechas volcánicas e indicando que fueron varios los eventos de depositación de los volcánicos.

Los volcánicos se disponen de forma sub-horizontal y presentan fracturamiento débil con orientaciones N 60° y N 150°.

d. Venillas y brechas Hidrotermales

Son afloramientos pequeños que se exponen en la parte alta del cierre de presa y afectan principalmente a las areniscas cuarzosas. Por lo general son venillas de cuarzo de tipo calcedónico, granular, y arcillas (caolín e illita), así como brechas de tipo freáticas (por acción de los fluidos hidrotermales) y de

contacto (entre la roca encajonante y los flujos hidrotermales). Suelen ser de corta extensión pero afectan la roca encajonante de forma muy significativa, silicificándola, generando un fracturamiento muy intenso e incluso roca triturada. Estas características se han observado en un corte de carretera, al costado de la quebrada La Florida en el estribo derecho. Suelen ser ricos en óxidos de hierro y arcillas. Ver Foto 14.



Foto 12: Arenisca cuarzosa fuertemente fracturada e instruida por venillas de cuarzo, se observan también brechas freáticas y brechas de contacto, pátinas de óxidos de hierro.

5.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES.

Estructuralmente el área de proyecto se sitúa en una franja muy plegada de rocas silicoclásticas del cretáceo inferior. Estas secuencias se ven afectadas por lineamientos que afectan parte de la zona del cierre de presa y por efectos de la acción hidrotermal que es localizada pero muy intensa. Localmente la roca se encuentra afectadas por familias de diaclasas longitudinales y transversales al eje de la presa.

A escala local, se observa una estructura anticlinal con dirección N300°, cerca de la carretera Huamachuco-Trujillo y que se extiende próximo al sector donde las quebradas Fraylones y La Florida entran en confluencia.

Se ha inferido una estructura sinclinal por la posición estratigráfica y buzamientos de sus estratos.

Esta disposición de pliegues, permite que los estratos se dispongan con buzamientos altos y disturban el macizo rocoso por la presencia de familias de diaclasas. Los estratos de la formación Chimú están en posición sub-vertical e invertida.

Localmente, se observan fracturamientos moderados a intensos, incluso llegando a roca triturada en las rocas sedimentarias. Los fracturamientos suelen presentarse en tres direcciones principales: el primer sistema con dirección N 55° a N 70°, un segundo sistema con direcciones entre N 130° a N 150° y un tercer sistema con direcciones entre N 110° a N 115°. Los buzamientos de estos sistemas o familias de diaclasas suelen ser variables entre los 30° a 80° (sub-vertical), con predominancia de buzamientos altos. El fracturamiento moderado es característico en las secuencias de areniscas, lutitas y limolitas, e intenso en las areniscas cuarzosas. Hacia el cierre de la presa se observan cárcavas que afectan las areniscas cuarzosas con direcciones preferentes de N 70° y N 20°, relacionadas a lineamientos estructurales.

Las rocas volcánicas de la zona del vaso se presentan sub-horizontales y sin estructuras importantes que las afecten.

CAPÍTULO VI

GEOFÍSICA

Las investigaciones geofísicas mediante los ensayos de refracción sísmica y MASW 1D consistieron en la medición de las velocidades de ondas compresionales o longitudinales (ondas P) y ondas transversales o de corte (ondas S) respectivamente, las cuales permiten la estimación de las velocidades longitudinales (V_p) y de corte (V_s), con la finalidad de obtener perfiles sísmicos bidimensionales y unidimensionales de los materiales existentes en la zona evaluada.

Se utilizó un sismógrafo Geometrics StrataView R24, de 24 canales sísmicos, con geófonos verticales electromagnéticos de 14Hz. Las señales sísmicas fueron generadas con impactos mecánicos repetidos y con apilamiento vertical de trazas.

6.1. REFRACCIÓN SÍSMICA.

Están mostradas las secciones de tomografía icónica resultantes de la interpretación de los levantamientos de Refracción Sísmica a lo largo de 13020 metros, en 13 perfiles, sin utilizar explosivos. Las velocidades se dan en metros por segundo. Las escalas son de 1 : 1 500, horizontales y verticales.

Las secciones están presentadas de manera geofísica estricta, como reconstrucción de Tomografía Icónica de Trayectorias de Onda con utilización de Volúmenes Fresnel (Haz de Rayos Fresnel), sin asignar símbolos litológicos. El basamento elástico de alta velocidad (bedrock) está coloreado en rojo/rosado y el procedimiento tomográfico automáticamente ha delimitado la profundidad de interpretación una vez que se alcanzó la velocidad alta, porque no es factible la refracción por debajo de un horizonte tal. Los cambios rápidos de color representan cambios radicales en la litología, mientras que los cambios graduales representan variaciones progresivas.

Las secciones sísmicas no son propiamente secciones litológicas, sino más bien representaciones (imágenes) de cuadros de variaciones elásticas. Por la necesidad de que los horizontes elásticos sean siempre más veloces (compactos) a profundidad, condición indispensable para que ocurra la refracción de ondas, toda “capa” de baja velocidad que pudiera existir bajo una de alta velocidad impediría la refracción a superficie e introduciría un error de interpretación insalvable en operaciones primarias como las de este estudio. Sin embargo, la tomografía icónica de trayectorias permite “manejar” ciertas inversiones de velocidad cuando se trata de volúmenes discretos incluidos en las secciones, como puede ocurrir en el caso de bloques dentro de aluviones o de cavernas y fracturas dentro del basamento.

Se realizaron trece (trece) perfiles de refracción sísmica en el área de cimentación de la presa y alrededores, tanto paralelos así como transversales al eje de la presa, sumando una longitud de 13020.00 metros, los detalles se muestran en la *tabla 6.1*; las ubicaciones se muestra en el Plano 09 y los resultados se muestran en el Plano 10.

Tabla 6.1: Líneas de Refracción Sísmica.

Línea Sísmica	Tipo de Onda	Longitud del Ensayo	Coordenadas UTM (WGS84-17S)			
			Inicio		Final	
			Norte	Este	Norte	Este
L1	Vp	1020	9424095.0	818230.0	9123595.0	817342.0
L2	Vp	1200	9124314.0	817546.0	9123284.0	818161.0
L3	Vp	660	9124122	817164	9123547	817488
L4	Vp	1140	9123775.9	817081.4	9122796.8	817652.3
L5	Vp	1140	9123813.4	817192.2	9122851.6	817759.5
L6	Vp	1020	9123971.6	817411.5	9123118.1	817911.2
L7	Vp	1020	9124028.7	817509.9	9123162.1	818029.6
L8	Vp	600	9123984.4	817694.0	9123469.7	817999.2
L9	Vp	720	9123006.1	817481.5	9123354.3	818071.2
L10	Vp	960	9123130.3	817176.3	9123601.3	818009.9
L11	Vp	960	9123333.4	817055.7	9123808.7	817885.1
L12	Vp	960	9123447.8	816987.0	9123915.3	817818.5
L13	Vp	1620	9123077.0	816335.8	9124065.5	817525.1
Total Ensayado (m)			13020.00			

6.2. MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW).

Se realizaron veintiséis (22) ensayos MASW en el área de cimentación y alrededores, a lo largo de las líneas de refracción sísmica y en su mayoría en las intersecciones entre estas, las coordenadas y detalles se muestran en la *tabla 6.2*; las ubicaciones se muestra en el *Plano 09*.

Tabla 6.2. Sondajes Geofísicos – Técnica MASW.

Sondaje Sísmico	Tipo de Onda	Profundidad Investigada (m)	Coordenadas UTM WGS84 – 17S		Elevación (m.s.n.m)
			Norte	Este	
S-01	Vs	38.2	9123173.1	817253.0	3310
S-02	Vs	22.8	9123283.9	817196.1	3309
S-03	Vs	26.3	9123382.6	817143.0	3308
S-04	Vs	23.2	9123250.0	817388.1	3308
S-05	Vs	39.9	9123357.2	817322.9	3306
S-06	Vs	33.3	9123456.3	817266.0	3306
S-07	Vs	19.3	9123308.2	817490.9	3306
S-08	Vs	22.1	9123416.0	817427.9	3305
S-09	Vs	30.5	9123514.0	817369.8	3304
S-10	Vs	39.5	9123167.9	817756.0	3382
S-11	Vs	40.6	9123272.0	817693.0	3340
S-12	Vs	39.9	9123385.1	817626.9	3306
S-13	Vs	39.7	9123492.0	817562.9	3306
S-14	Vs	40.2	9123590.1	817503.0	3303
S-15	Vs	39.6	9123701.0	817438.0	3319
S-16	Vs	39.1	9123440.0	817722.0	3307
S-17	Vs	37.8	9123548.0	817660.0	3305
S-18	Vs	40.5	9123647.0	817601.0	3303
S-19	Vs	39.1	9123498.0	817828.0	3307
S-20	Vs	39.8	9123606.0	817763.0	3305
S-21	Vs	38.8	9123711.0	817714.1	3302
S-22	Vs	38.9	9123671.0	817880.0	3304

Luego de haber identificado correctamente la onda de superficie, se procede al modelado de la onda S mediante un proceso iterativo, para obtener como resultado final una curva de variación de velocidad de onda S a diversas profundidades, en general la información es confiable hasta unos 30 a 35 metros de profundidad.

En la Tabla 6.3 se muestran los resultados de las Velocidades de Onda de Corte obtenida de los Ensayos MASW.

Tabla 6.3: Velocidad de Onda de Corte Vs en Ensayos MASW.

Velocidad de Ondas de Corte Vs en Ensayos MASW					
Ensayo N°	Profundidad (m)	Velocidad de Onda de Corte Vs (m/s)	Ensayo N°	Profundidad (m)	Velocidad de Onda de Corte Vs (m/s)
S-01	1.2	165.0	S-02	0.7	124.6
	2.7	148.2		1.6	161.3
	4.5	185.1		2.7	166.0
	6.8	258.7		4.1	160.8
	9.7	275.6		5.8	241.8
	13.3	297.7		7.9	306.8
	17.8	346.8		10.6	349.6
	23.5	412.0		14.0	225.5
	30.5	464.8		18.2	165.7
	38.2	704.6	22.8	535.6	
S-03	0.8	190.4	S-04	0.7	160.0
	1.8	190.4		1.6	160.3
	3.1	183.2		2.7	149.7
	4.7	181.8		4.1	139.9
	6.7	197.8		5.9	153.5
	9.2	215.8		8.1	198.7
	12.3	215.6		10.8	213.6
	16.2	249.9		14.3	211.8
	21.0	306.4		18.6	232.3
	26.3	438.4	23.2	395.1	
S-05	1.2	269.6	S-06	1.0	204.8
	2.8	214.3		2.3	206.0
	4.7	148.7		3.9	208.5
	7.1	156.6		6.0	220.2
	10.1	213.1		8.5	220.9
	13.9	346.8		11.6	241.1
	18.6	565.8		15.6	279.4
	24.5	625.6		20.5	337.4
	31.9	713.3		26.7	414.3
	39.9	1212.7	33.3	692.9	
S-07	0.6	116.6	S-08	0.7	178.6
	1.3	115.8		1.5	190.9
	2.3	100.8		2.6	156.3
	3.5	109.5		4.0	107.8
	4.9	156.3		5.6	173.7
	6.7	181.0		7.7	308.6
	9.0	180.5		10.3	360.3
	11.9	197.3		13.6	272.3
	15.4	219.3		17.7	166.0
	19.3	301.8	22.1	365.9	
S-09	0.9	226.9	S-10	1.2	239.4
	2.1	229.9		2.8	337.6
	3.6	203.7		4.7	469.0
	5.4	198.6		7.1	340.0
	7.7	264.6		10.0	572.8
	10.6	301.8		13.8	1353.5
	14.2	256.4		18.4	419.6
	18.7	234.7		24.3	532.7
	24.4	333.7		31.6	371.8
	30.5	579.5	39.5	1329.4	

Velocidad de Ondas de Corte Vs en Ensayos MASW					
Ensayo N°	Profundidad (m)	Velocidad de Onda de Corte Vs (m/s)	Ensayo N°	Profundidad (m)	Velocidad de Onda de Corte Vs (m/s)
S-11	1.3	324.0	S-12	1.2	108.0
	2.8	324.0		2.8	109.0
	4.8	324.0		4.7	264.8
	7.3	341.8		7.1	335.0
	10.3	497.1		10.2	446.2
	14.2	561.4		13.9	508.6
	19.0	936.4		18.7	675.3
	25.0	1330.7		24.6	902.5
	32.5	1406.4		32.0	1129.2
40.6	1596.1	39.9	1323.5		
S-13	1.2	62.0	S-14	1.2	249.4
	2.8	140.1		2.8	96.0
	4.7	293.7		4.8	116.8
	7.1	294.8		7.2	292.7
	10.1	347.5		10.2	247.6
	13.9	461.0		14.0	250.8
	18.6	610.0		18.8	320.1
	24.4	787.3		24.7	401.1
	31.8	971.1		32.2	487.1
39.7	1325.0	40.2	795.4		
S-15	1.2	256.0	S-16	1.2	97.0
	2.8	256.0		2.7	110.0
	4.7	256.0		4.6	194.8
	7.1	256.0		7.0	337.0
	10.1	307.9		9.9	429.6
	13.8	484.6		13.6	496.5
	18.5	769.3		18.3	607.1
	24.3	1029.8		24.0	772.6
	31.7	1200.7		31.3	950.3
39.6	1455.9	39.1	1442.5		
S-17	1.2	66.0	S-18	1.3	251.2
	2.6	97.8		2.8	184.0
	4.5	186.9		4.8	198.1
	6.8	267.3		7.2	272.8
	9.6	370.2		10.3	432.9
	13.2	458.3		14.1	615.2
	17.7	547.6		18.9	798.3
	23.3	657.8		24.9	990.7
	30.2	784.1		32.4	1193.2
37.8	1274.8	40.5	1462.8		
S-19	1.2	431.9	S-20	1.2	237.1
	2.7	424.3		2.8	180.0
	4.6	390.8		4.7	188.4
	7.0	289.1		7.1	251.7
	10.0	246.0		10.1	336.6
	13.7	333.4		13.9	484.3
	18.3	736.6		18.6	687.1
	24.1	892.1		24.5	837.0
	31.3	333.1		31.9	989.3
39.1	975.0	39.8	1596.7		
S-21	1.2	81.0	S-22	1.2	328.1
	2.7	104.3		2.7	415.9
	4.6	197.0		4.6	509.1
	6.9	311.6		7.0	473.8
	9.9	354.9		9.9	383.8
	13.5	422.5		13.6	405.0
	18.1	515.6		18.2	587.9
	23.9	657.0		23.9	820.8
	31.0	787.3		31.1	344.5
38.8	1289.3	38.9	1165.8		

CAPÍTULO VII GEOTÉCNIA

7.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA.

Se realizaron veinte y cuatro (24) estaciones geomecánicas, de las que trece (13) se ubican en el flanco derecho y once (11) en el flanco izquierdo, la calificación se realizó según el RMR 1989 de Bieniawski, realizándose también análisis en campo con la calificación GSI.

7.1.1. Estaciones Geomecánicas Flanco Derecho.

- **Estación Geomecánica EG-01.**

Se encuentra en el flanco derecho y al sureste de la zona de cimentación, en roca arenisca de la formación Chimú, en una zona de cizalla subvertical, la roca se encuentra extremadamente fracturada a ambos lados del punto +/- 10mts a cada lado, los fragmentos resultante del fracturamiento tienen forma cúbica con tamaños de 2 a 5cm, las fracturas tienen continuidades menores a 1m, con paredes manchadas por óxidos y en algunas rellenas con roca triturada.

Dándole las siguientes calificaciones:

GSI: 35 - 45.

RQD: 0%.

RMR89: 48.

- **Estación Geomecánica EG-02.**

En el flanco derecho, al sur de la zona de cimentación, mirando hacia la quebrada Fraylones, cerca de la cresta del cerro La Florida, en roca arenisca de la formación Chimú, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Presenta tres sistemas de discontinuidades, las cuales se encuentran espaciadas de 6 a 20cm entre sí, con persistencia mayor a 20 m., abertura entre 0.1 y 0.25mm, ligeramente rugosas, con presencia de óxidos en las paredes. Se calificó:

GSI: 55 – 65.

RQD: 92%.

RMR89: 65.

- **Estación Geomecánica EG-03.**

Afloramiento expuesto en el corte realizado para la extracción de material en forma de cantera, ubicada al sur del área de cimentación, en una zona de falla subvertical con relleno de milonita de 40cm. Las rocas caja circundante son arenisca y lutita gris claro a gris parduzco, extremadamente a muy frágil, moderada a muy meteorizada, con intenso fracturamiento producto del cual se forman fragmentos de arenisca de 0.5 a 4cm envueltos en una matriz limoarcillosa. Se calificó:

GSI: 10 – 15.

RQD: 0%.

RMR89: 16.

- **Estación Geomecánica EG-04.**

Afloramiento expuesto en cantera al costado de carretera a Santo Domingo, en el flanco derecho de la futura presa, al sur del área de cimentación, en afloramiento de roca arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura a dura, ligeramente a muy meteorizada, presenta delgados niveles lutáceos. Se identificaron tres sistemas principales de discontinuidades, el espaciamiento varía entre 6 y 20cm, persistencia mayor a 20m, abertura de entre 0.5 y 2.5, con relleno menor a 5mm. Se calificó:

GSI: 45 – 50.

RQD: 49%.

RMR89: 55.

- **Estación Geomecánica EG-05.**

Ubicada en el flanco derecho al sur del área de cimentación de la presa, en un afloramiento expuesto en la carretera a Santo Domingo; consiste de arenisca gris blanquecina, de grano medio, frágil a medianamente frágil, ligera a moderadamente meteorizada, muy fracturada por encontrarse cerca de una zona de cizalla. Se identificaron cuatro sistemas principales de discontinuidades, el espaciamiento varía de 02 a 60cm, persistencia mayor a 20m en planos de estratificación y de 1 a 3m en juntas, la apertura varía de 0.1 a 0.25mm. Su calificación es:

GSI: 35 – 45.

RQD 3%.

RMR89: 45.

- **Estación Geomecánica EG-06.**

Ubicada en afloramiento cerca a la cresta del flanco derecho de la presa, mirando hacia la quebrada Fraylones. La roca es arenisca cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Se identificaron tres sistemas principales de discontinuidades, con espaciamiento entre 20 y 60cm, persistencia entre 10 y 20m, apertura de 0.1 a 2.5mm, superficies ligeramente rugosas. Su calificación:

GSI: 35 – 45.

RQD: 13%.

RMR89: 46.

- **Estación Geomecánica EG-07.**

El afloramiento se encuentra en la parte alta del eje central en el flanco derecho de la presa, mirando hacia la quebrada Fraylones. La roca es arenisca cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Se observan tres sistemas principales de discontinuidades con

espaciado entre 20 y 60cm, persistencia entre 10 y 20m, apertura entre 0.1 y 2.5mm y superficies rugosas. Se calificó:

GSI: 55 – 60.

RQD: 62%.

RMR89: 60.

- **Estación Geomecánica EG-08.**

Ubicada en el eje principal en el estribo derecho de la cimentación de la presa. La roca es arenisca cuarzosa de grano medio, gris, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Se identificaron tres principales sistemas de discontinuidades con espaciamiento entre 6 y 60cm, persistencia de 1 a 3m para juntas y mayor a 20m para planos de estratificación, apertura de 0.1 a 2.5mm, superficies rugosas. Se consideró:

GSI: 50 – 55.

RQD: 66%.

RMR89: 60.

- **Estación Geomecánica EG-09.**

Ubicada a mitad de ladera del flanco derecho, muy cerca al eje de cimentación del estribo derecho. La roca es arenisca cuarzosa de grano medio, gris, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Se identificaron tres sistemas principales de discontinuidades, con espaciamientos entre 6 y 60cm, persistencia entre 1 y 20m, apertura >0.1mm y 0.5mm, superficies rugosas. Se calificó:

GSI: 50 – 55.

RQD: 69%.

RMR89: 60.

- **Estación Geomecánica EG-10.**

Afloramiento en el estribo derecho, mirando hacia el río Yamobamba. La roca arenisca intercalada con lutita y carbón, muy frágil, muy fracturadas y ligeramente meteorizada. Se observaron tres sistemas principales de discontinuidades, con espaciamiento entre 2 y 6cm, persistencia menor a 1m, apertura entre 0.25 y 0.5mm, superficies rugosas. Se calificó así:

GSI: 30 – 35.

RQD: 0%.

RMR89: 43.

- **Estación Geomecánica EG-11.**

Se encuentra en el flanco derecho, cerca al límite de cimentación del estribo derecho. La roca es arenisca cuarzosa de grano medio, gris, poco fracturada, medianamente dura a dura y ligeramente meteorizada. Se identificaron cuatro sistemas de discontinuidades, con espaciamiento entre 6 y 60cm, persistencia entre 1 y 10m en juntas y mayor a 20m en planos de estratificación, apertura entre 0.1 y 0.25mm, superficies rugosas a muy rugosas. La calificación Geomecánica es:

GSI: 55 – 60.

RQD: 49%.

RMR89: 48.

- **Estación Geomecánica EG-12.**

Se encuentra en la zona externa del flanco derecho de la presa, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es arenisca cuarzosa, intensamente fracturada, débil a medianamente dura y ligera a moderadamente meteorizada. Se identificaron tres sistemas de discontinuidades, el espaciamiento de las discontinuidades varía de 6 a 200cm, la persistencia varía de 3 a 10m en juntas y mayor a 20m en falla y planos de estratificación,

presenta abundante oxidación en las paredes de las discontinuidades. Se calificó:

GSI: 30 – 35.

RQD: 39%.

RMR89: 41.

- **Estación Geomecánica EG-13.**

Se encuentra en el flanco derecho, mirando hacia la zona del embalse. La roca es arenisca cuarzosa, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Se encuentra intensamente fracturada por encontrarse cerca a zona de cizalla. Se identificó cuatro sistemas de discontinuidades, con espaciamentos entre 2 y 60cm, persistencia entre 1 y 10m en juntas y > 20m en planos de estratificación, apertura de 0.1 a 0.25mm, superficies rugosas a muy rugosas. Se consideró:

GSI: 30 – 35.

RQD 0%.

RMR89: 45.

7.1.2. Estaciones Geomecánicas Flanco Izquierdo.

- **Estación Geomecánica EG-14.**

Afloramiento expuesto en excavación para extracción de carbón en el flanco derecho. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada; intercalada con lutitas carbonosas y un estrato de carbón. Presenta tres principales sistemas de discontinuidades, con espaciamentos entre 20 y 60cm, persistencia de 1 a 3m en juntas y mayor a 20m en planos de estratificación, entre 0.1 y 0.5mm de apertura, superficies rugosas, con óxidos en las paredes. Se calificó con:

GSI: 50 – 60.

RQD: 66%.

RMR89: 59.

- **Estación Geomecánica EG-15.**

Ubicado en el estribo derecho de la presa, afloramiento expuesto en una cárcava originada por la erosión de roca extremadamente fracturada. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada. Presenta cuatro sistemas de discontinuidades formando fragmentos de rocas menores a 2.5cm, el intenso fracturamiento que presenta es debido a la cercanía a zona de cizalla. Se calificó así:

GSI: 35 – 45.

RQD: 13%.

RMR: 44.

- **Estación Geomecánica EG-16.**

Afloramiento expuesto en la parte baja del estribo izquierdo mirando hacia la zona de embalse. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada. Presenta cuatro sistemas principales de discontinuidades, con 6 a 60cm de espaciamiento, persistencia de 1 a 10m en juntas y mayor a 20m en planos de estratificación, apertura de 0.1 a 0.5mm, superficies rugosas. Se calificó:

GSI: 50 – 55.

RQD: 36%.

RMR89: 54.

- **Estación Geomecánica EG-17.**

El afloramiento se encuentra en la zona externa del flanco izquierdo de la Presa mirando hacia el río Yamobamba. La roca es arenisca cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Presenta cuatro sistemas principales de discontinuidades, con espaciamiento entre 6 y

200cm, persistencia mayor a 3m, apertura menor a 0.1mm, superficies rugosas a muy rugosas.

GSI: 50 – 55.

RQD: 72%.

RMR: 55.

- **Estación Geomecánica EG-18**

Ubicada en la parte alta del eje principal en el flanco izquierdo de la presa en una cárcava originada por la erosión de la roca intensamente fracturada. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada. Presenta tres principales sistemas de discontinuidades, con espaciamentos muy cercanos, por lo que forma fragmentos de roca menores a 4cm. Se le asignó una clasificación de:

GSI: 38 – 45.

RQD: 3%.

RMR89: 42.

- **Estación Geomecánica EG-19.**

Ubicada Afloramiento expuesto en el flanco izquierdo y al oeste de la zona de cimentación, mirando hacia la quebrada Fraylones. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada. Tiene tres sistemas principales de discontinuidades, con espaciamentos entre 20 y 60cm, las juntas tienen de 1 a 3m de persistencia, de 0.5 a 2.5mm de apertura, superficies rugosas. Se clasificó así:

GSI: 45 – 50.

RQD: 62%.

RMR89: 50.

- **Estación Geomecánica EG-20.**

Afloramiento expuesto en la del flanco izquierdo, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura a dura, ligeramente meteorizada. Presenta tres sistemas principales de discontinuidades, algunas de las cuales presentan oxidación en las caras. Se le clasificó así:

GSI: 30 – 35.

RQD: 16%.

RMR89: 39.

- **Estación Geomecánica EG-21.**

Se ubica en la zona externa del flanco derecho, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es arenisca cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Presenta poca oxidación en las paredes de los sistemas de fracturamiento. Tiene tres principales sistemas de discontinuidades, con espaciamiento de 6 a 60cm, persistencia de 10 a 20m, apertura entre 0.1 a 0.5mm, superficies rugosas. Clasificándolo como sigue:

GSI: 40 – 45.

RQD: 42%.

RMR89: 48.

- **Estación Geomecánica EG-22.**

El afloramiento se encuentra en la zona externa del flanco izquierdo de la Presa cerca de la cresta de cerro La Arena, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es Arenisca Cuarzosa, intensamente fracturada, medianamente dura y ligeramente a moderadamente meteorizada, presenta abundante oxidación en las paredes de los sistemas de fracturamiento, se identificaron por lo menos cuatro sistemas de discontinuidades; por encontrarse cerca de una zona de cizalla la roca se encuentra extremadamente fracturada incluso llegando a triturada.

GSI: 20 – 25.

RQD: 0%.

RMR89: 26.

- **Estación Geomecánica EG-23.**

Se ubica en un afloramiento expuesto a media ladera del flanco izquierdo, mirando hacia la quebrada Fraylones. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura a dura, ligeramente a muy meteorizada. Se identificaron cuatro sistemas principales de discontinuidades, con espaciamentos de 6 a 20cm, con persistencia de juntas entre 1 y 3m, apertura entre 0.25 y 0.5mm, superficies rugosas; el macizo rocoso tiene una calificación:

GSI: 35 – 45.

RQD: 50%.

RMR89: 47.

- **Estación Geomecánica EG-24.**

Afloramiento expuesto a media ladera del flanco izquierdo mirando hacia la quebrada Fraylones, en un corte de carretera. La roca es arenisca cuarzosa, gris claro, de grano medio, débil a medianamente dura, ligeramente meteorizada. Presenta cuatro principales sistemas de discontinuidades, con espaciamentos entre 6 y 20cm, persistencia de 1 a 3m, apertura de 0.25 a 0.5mm, superficies rugosas. Calificando:

GSI: 35 – 40.

RQD: 0%.

RMR89: 49.

Los resultados y detalles del análisis se pueden observar en el *Anexo 01*, las ubicaciones en el *Plano N° 12* y los resultados del análisis se resumen en la *Tabla 7.1*.

Tabla 7.1: Resultados del Análisis Geomecánico.

Ubicación	Estación	Este	Norte	GSI	RQD (%)	RMR 89
Flanco Derecho	EG-01	818066	9122645	35 - 45	0	48
	EG-02	817855	9122700	55 - 65	92	65
	EG-03	817790	9122492	10 - 20	0	16
	EG-04	817691	9122625	45 - 50	49	55
	EG-05	817685	9122722	35 - 45	3	45
	EG-06	817847	9122901	35 - 45	13	46
	EG-07	817816	9123009	55 - 60	62	60
	EG-08	817753	9123150	50 - 55	66	60
	EG-09	817697	9123271	50 - 55	69	60
	EG-10	817806	9123230	30 - 35	0	43
	EG-11	817912	9123157	55 - 60	49	58
	EG-12	817955	9122947	30 - 35	39	41
	EG-13	817659	9122991	30 - 35	0	45
Flanco Izquierdo	EG-14	817539	9123819	50 - 60	66	59
	EG-15	817379	9123780	35 - 45	13	44
	EG-16	817298	9123649	50 - 55	36	54
	EG-17	817501	9123955	50 - 55	72	55
	EG-18	817327	9123879	38 - 45	3	42
	EG-19	817192	9123845	45 - 50	62	50
	EG-20	817349	9124248	30 - 35	16	39
	EG-21	817365	9124084	40 - 45	42	48
	EG-22	817233	9124098	20 - 25	0	26
	EG-23	817095	9123978	35 - 45	50	47
	EG-24	817037	9123856	35 - 40	0	49

7.2. SONDAJES GEOTÉCNICOS

Se realizaron doce (12) Sondajes en la zona de cimentación de la Presa de Relaves Fraylones, con el objetivo de obtener información para poder caracterizar y realizar la zonificación geotécnica, estos sondajes se realizaron con perforación diamantina con recuperación continua de muestra para el Logueo, se realizaron Ensayos Penetración Estándar (SPT), Cono tipo Peck (CP), Penetración Pesada (LPT), extracción de muestras Shelby, así como ensayos de permeabilidad. Para la presente tesis sólo se utilizó la información de siete (07) sondajes.

Se perforaron un total de 550.5 metros de los que 386.4 metros en suelo y 164.1 metros en roca, se realizaron 61 Ensayos SPT, 22 Ensayos LPT, 15

Ensayos con Cono Tipo Peck y se extrajeron 7 muestras Shelby. Ver Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Sondajes Geotécnicos, Ensayos In Situ y Muestras.

Sondaje	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)	Longitud de Perforación (m)			Contacto Suelo/ Roca (m)	Nivel de Agua (m)	N° Ensayos In-situ			N° Muestra Shelby
	Norte (m)	Este (m)		Suelo	Roca	Total			SPT	LPT	CP	
SG-PF-01	9123471.7	817556.0	3306.6	58.00	12.00	70.00	58.00	(+)2.1	10	6	1	2
SG-PF-02	9123594.4	817489.4	3304.6	81.50	10.50	92.00	81.50	(+)3.6	15	8	-	2
SG-PF-03	9123694.2	817435.3	3317.7	14.02	18.98	33.00	14.02	11.45	-	-	8	-
SG-PF-05	9123332.6	817230.2	3309.3	61.60	13.40	75.00	61.60	(+)0.4	19	2	-	3
SG-PF-07B	9123432.0	817581.8	3307.6	60.00	0.00	60.00	60.00	(+)1.0	17	4	-	-
SG-PF-08	9123636.8	817799.1	3306.4	110.70	9.80	120.5	110.70	(+)3.5	-	2	6	-
SH-01	9123275.8	817705.5	3339.8	0.60	99.40	100.0	0.60	27.83	-	-	-	-
Total				386.4	164.1	550.5			61	22	15	7

A continuación se describen los detalles de cada sondaje; los resultados de los registros se muestran en el Anexo 2 y las fotos de los testigos en el Anexo 3.

- Sondaje SG-PF-01.

Se ubica en la parte central del eje de presa, tiene una profundidad final de 70.00 metros, se realizaron 10 ensayos SPT, 4 ensayos LPT y 1 ensayo CP.

Desde la superficie hasta una profundidad de 5.61 metros se tiene suelo orgánico al cual denominamos turba.

De 5.61 hasta los 14.00 metros encontramos arena arcillosa, grava arcillosa, variando la composición de sus componentes; en el tramo final se puede apreciar horizontes gravosos, esta unidad presenta un comportamiento suelto.

De 14.00 a 58.00 metros se encuentra grava arcillosa con arena, arena arcillosa con grava, dentro de las cuales se puede apreciar horizontes de arcilla y limo, el comportamiento de estos suelos es de compacto a denso en no cohesivos y firme en cohesivos.

Desde 58.00 hasta 70.00 metros de profundidad se encuentra macizo rocoso compuesto por areniscas cuarzosas, medianamente dura, ligeramente a moderadamente meteorizada, muy fracturada.

- **Sondaje SG-PF-02.**

Se ubica en el eje principal de la presa, tiene una profundidad final de 92.00 metros se realizaron 15 ensayos SPT y 8 LPT.

Desde la superficie hasta 2.50 metros de profundidad se tiene suelo orgánico turba.

De 2.50 a 12.00 metros se encuentra arena arcillo-limosa suelta y un estrato de arcilla blanda.

De 12.00 hasta la profundidad de 32.00 metros se tiene intercalaciones de arena limosa, grava arcillosa compactas y arcilla rígida.

De 32.00 a 45.00 metros se encontró arena arcillosa densa; de 45.00 a 81.50 metros se tiene intercalaciones de arena limosa, grava y limosa, variando el contenido de grava en todo el tramo; en este tramo el suelo tiene un comportamiento denso.

De 81.50 a 92.00 metros de profundidad se encontró arenisca cuarzosa medianamente dura, ligeramente meteorizada y muy fracturada.

- **Sondaje SG-PF-03**

Se ubica en el eje principal y estribo izquierdo de la presa, tiene una profundidad final de 33.00 metros.

Desde la superficie hasta una profundidad de 14.02 metros se encontró grava limosa con arena suelta a compacta.

Desde los 14.02 hasta la profundidad final se encontró arenisca cuarzosa, medianamente dura, ligeramente meteorizada y fracturada.

- Sondaje SG-PF-05

Se ubica al oeste de la zona de cimentación, aguas arriba de la zona de cimentación; tiene una profundidad final de 75.00 metros, se realizaron diecinueve (19) ensayos SPT y 2 LPT.

Desde la superficie hasta una profundidad de 2.00 metros se encontró suelo orgánico turba.

De 2.00 a hasta 14.50 metros se encontró arcilla con arena firme y arena limo arcillosa suelta.

De 14.50 a 29.50 metros de profundidad se encontró intercalaciones de arena limo arcillosa, grava arcillosa y arcilla con arena estos suelos tienen densidad compacta.

De 29.50 hasta 61.60 metros es una secuencia de arena limo arcillosa con grava densa y al final del tramo arcilla limosa con arena rígida.

De 61.60 hasta la profundidad final en 75.00 metros se encontró lutita y limolita carbonosa débil a extremadamente débil, moderadamente a muy meteorizada, extremadamente fracturada, se puede observar además delgados estratos de arenisca.

- Sondaje SG-PF-07B.

Realizado en el eje de la Presa Fraylones tiene una profundidad final de 60 metros, se realizaron 17 ensayos SPT y 4 ensayos LPT.

Desde la superficie hasta una profundidad de 3.50 metros es turba y en la parte inferior se observa arcilla orgánica.

De 3.50 hasta los 13.95 metros se encontró horizontes de arena arcillosa con grava suelta, arcilla y limo blandos.

De 13,95 a 35.00metros de profundidad se tiene intercalación de arena limosa y grava arcillosa compactas, un horizonte de arcilla y limo arenoso con consistencia firme.

Desde 35.00 hasta 60.00 metros de profundidad se tiene macizo rocoso compuesto por areniscas cuarzosas medianamente duras, ligeramente meteorizadas, muy fracturas.

- **Sondaje SG-PF-08**

Se encuentra al noreste de la zona de cimentación, aguas abajo del eje de la presa; tiene una profundidad final de 120.50 metros, se realizaron dos ensayos LPT y seis ensayos CP.

Desde la superficie hasta una profundidad de 1.50 metros se encuentra turba.

Desde 1.50 hasta una profundidad de 34.20 se tiene una grava limo arcillosa con arena compacta, se observa variaciones en cuanto a la cantidad de arena

Desde los 34.20 hasta los 49.50 metros se tiene arena limo arcillosa compacta.

Desde los 49.50 a 110.70 metros de profundidad se tiene Grava arcillo limosa, arena limo arcillosa densas.

Desde los 110.70 hasta la profundidad final en 120.50 metros se tiene arenisca cuarzosa, frágil a medianamente dura, moderada a muy meteorizada, extremadamente fracturada.

- **Sondaje SH-01.**

Ubicado en el flanco derecho muy cerca al eje principal de la presa, encontrándose una capa de Limo arcilloso el cual es suelo residual, producto de la meteorización de las lutitas y limolitas; luego hasta una profundidad de 37.60 metros se encontró estratos de carbón intercalados con lutitas carbonosas y limolitas.

Desde los 37.60 hasta una profundidad de 88.00 metros se encontró roca arenisca cuarzosa débil a medianamente dura, ligeramente meteorizada extremadamente fracturada.

De 88.00 hasta 93.50 metros de profundidad la roca es cuarcita dura muy fracturada ligeramente meteorizada. Luego hasta la profundidad de 100 metros se encontró arenisca medianamente dura a dura, ligeramente meteorizada y muy fracturada.

7.3. ENSAYOS DE LABORATORIO.

7.3.1. Ensayos estándar en Suelos

Se enviaron a laboratorio muestras obtenidas de los sondajes SG-PF-01, SG-PF-02 y SG-PF-07B; para la realización de Ensayos Estándar. Realizándose cuarenta y cinco (45) ensayos de clasificación (contenido de humedad, granulometría por tamizado, límite líquido y límite plástico y gravedad específica de sólidos).

Los principales datos de las muestras y los resultados de laboratorio se muestran en la Tabla 7.3.

7.3.2. Ensayos Especiales.

De los sondajes SG-PF-01, SG-PF-02 y SG-PF-05 se obtuvieron muestras inalteradas utilizando el muestreador de pared delgada conocido como Shelby, en el laboratorio se realizaron cuatro (04) Ensayos de Compresión Triaxial Consolidado No Drenado (CU) y dos (02) ensayos de Límites de Contracción. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 7.4.

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CIMENTACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES FRAYLONES – PROYECTO LA ARENA - LA LIBERTAD

Tabla 7.3: Muestras y Resultados de Ensayos Estandar de Laboratorio.

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)		Contenido de Humedad (%)	Clasificación SUCS	Gravedad Especifica de Sólidos	Análisis Granulométrico			Límites Atterberg			Nombre del Grupo
		Desde	Hasta				Gravas (%)	Árenas (%)	Finos (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
SG-PF-01	SPT-02	4.90	5.30		PI								Turba
	SPT-03	7.50	7.95	14.40	GW-GM	2.691	57.7	33.3	9.0	NP	NP	NP	Grava bien Gradada con limo y arena
	SPT-04	10.50	10.95	45.10	CL	2.531	0.9	30.4	68.7	33	22	11	Arcilla poca Arena
	LPT-01	13.00	13.45	32.10	SC	2.81	11.1	42.4	46.5	46	22	24	Arena arcillosa
	LPT-02	15.10	15.50	21.60	SW-SM	2.83	37.7	53.3	9.0	NP	NP	NP	Arena bien gradada con limo y grava
	LPT-03	17.00	17.45	38.90	CL	2.585	23.1	28.5	50.4	40	24	16	Arcilla con arena y grava
	LPT-04	25.00	25.45	16.10	SC	2.657	13.1	44.4	42.5	37.0	18.0	19	Arena limosa
	LPT-05	26.50	26.95	45.70	CH	2.654	0.9	25.8	73.3	57	27	30	Arcilla orgánica con arena
	SPT-05	28.00	28.38	29.30	SC	2.7	16.4	41.2	42.4	39.0	24.0	15	Arena arcillosa con grava
	LPT-06	29.50	29.95	39.80	CL	2.5	10.2	22.0	67.8	46.0	25.0	21	Arcilla poca arena
SPT-06	31.45	31.90	34.30	CL	2.51	1.2	35.2	63.6	44	22	22	Arcilla con arena	
SPT-07	33.40	33.85	41.20	CH	2.595	1.1	32.5	66.4	50	25	25	Arcilla con arena	
SPT-09	37.50	37.95	34.30	CL	2.542	18.7	37.4	43.9	42	24	18	Arcilla con grava y arena	
SPT-10	39.45	39.90	35.60	CL	2.531	3.1	22.4	74.5	45	26	19	Arcilla con arena	
SG-PF-02	SPT-01	3.00	3.45	22.70	SC	2.561	26.9	51.4	21.7	30	21	9	Arena arcillosa con grava
	SPT-02	4.95	5.40	43.70	CL	2.655	0.4	16.2	83.4	42	26	16	Arcilla con arena
	SPT-03	6.90	7.35	23.80	SC-SM	2.655	19.5	55.1	25.4	28	21	7	Arena limo arcillosa con grava
	LPT-01	8.85	9.30	18.40	SM	2.64	10.7	56.4	32.9	NP	NP	NP	Arena limosa
	SPT-04	11.50	11.95	19.80	SM	2.688	42.2	42.8	15.0	NP	NP	NP	Arena limosa con grava
	LPT-02	13.00	13.45	20.30	GC	2.551	43.2	26.0	30.8	50	26	24	Grava arcillosa con arena
	SPT-05	14.50	14.95	30.80	SM	2.743	8.6	52.7	38.7	NP	NP	NP	Arena limosa
	LPT-03	16.00	16.45	16.70	GC	2.633	45.0	39.7	15.3	29	20	9	Grava arcillosa con arena
	LPT-04	17.50	17.95	20.00	SC	2.6	32.5	45.6	21.9	30.0	20.0	10	Arena arcillosa con grava
	LPT-05	19.00	19.45	34.60	SM	2.7	4.2	65.8	30.0	37.0	28.0	11	Arena limosa
	SPT-06	21.00	21.45	43.20	SC	2.68	20.8	35.4	43.8	35	21	14	Arena arcillosa con grava
	SPT-07	22.50	22.95	40.60	CL	2.662	6.4	26.2	67.4	41	22	19	Arcilla con arena
	SPT-08	24.34	24.79	33.20	CL	2.736	5.9	37.8	56.3	35	23	12	Arcilla con arena
	LPT-06	26.50	26.95	35.50	SC	2.533	9.1	58.6	32.3	47	24	23	Arena arcillosa
SPT-09	28.00	28.45	48.80	CL	2.838	4.0	20.9	75.1	39	21	18	Arcilla con arena	
SPT-10	29.50	29.95	34.10	SC	2.691	0.9	50.4	48.7	29	19	10	Arena arcillosa	
SPT-11	32.50	32.95	26.30	CL	2.667	3.1	36.3	60.6	35	18	17	Arcilla con arena	
SPT-12	34.00	34.45	25.40	CL	2.632	0.7	31.8	67.5	34	14	20	Arcilla con arena	
SPT-13	35.50	35.95	61.50	CH	2.645	0.0	14.0	86.0	63	31	32	Arcilla	
SPT-14	37.00	37.45	50.80	CL	2.632	11.1	25.4	63.5	45	19	26	Arcilla con arena	
LPT-08	40.00	40.45	17.30	SC	2.721	28.4	36.0	35.6	26	14	14	Arena arcillosa con grava	
SG-PF-07B	SPT-09	19.40	19.85	18.70	SC-SM	1.899	28.6	66.3	5.1	24	20	4	Arena limo arcillosa con grava
	SPT-10	21.00	21.45	20.60	CL-ML	2.695	8.5	38.3	53.2	24	20	4	Limo y arcilla arenosa
	SPT-11	22.50	22.95	102.70	OL	2.223	1.4	27.2	71.4	41	35	6	Limo orgánico con arena
	SPT-12	24.00	24.45	28.30	SM	2.669	17.6	34.7	47.7	31	27	4	Arena limosa con grava
	LPT-04	26.50	26.95	25.70	SM	2.76	18.1	48.8	35.1	NP	NP	NP	Arena limosa con grava
	SPT-13	28.00	28.45	34.10	SM	2.622	23.2	30.6	46.2	36	25	11	Arena limosa con grava
	SPT-14	29.00	29.45	25.00	SM	2.708	5.8	70.6	23.6	NP	NP	NP	Arena limosa
	SPT-15	31.00	31.45	36.90	ML	2.574	0.5	31.0	68.5	34	25	9	Limo arenoso
SPT-16	32.50	32.95	9.80	SM	2.709	28.3	46.1	25.6	NP	NP	NP	Arena limosa con grava	
SPT-17	34.00	34.45	16.20	SP-SM	2.766	19.1	70.2	10.7	NP	NP	NP	Arena pobre gradada con limo y grava	

Tabla 7.4: Resultados de Ensayos Especiales de Laboratorio.

Sondaje	Muestra	Profundidad		Clasific SUCS	Contenido de Humedad Natural (%)	Gravedad de sólidos (Gs)	Limite de Contracción (%)	Triaxial CU			
		De	A					Totales		Efectivos	
								c (Kg/cm ²)	φ (°)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)
SG-PF-01	Shelby-01-a	9	9.14	SP-SM	14						
	Shelby-01-b	9.14	9.24	GC	19.4	2.70					
	Shelby-02	18.95	19.55	OL		1.73	30	0.0	19		
SG-PF-02	Shelby-01	24	24.34	CL		2.72		83.0	15	0.0	41
	Shelby-02	32.95	33.47	CL		2.73					
SG-PF-05	Shelby-01	4.5	4.9	CL	27.90	2.75		54.0	16	84.0	25
	Shelby-02	10.5	11.1	MH	42.50	2.66	21	6.0	15	6.0	32
	Shelby-03	32	32.55	MH	42.00	2.63					

7.4. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE (φ y Cu)

Los parámetros de resistencia cortante de los diferentes materiales presentes en el área de cimentación de la presa de relaves fueron estimados en base a resultados de Ensayos de Penetración Estándar (SPT), empleando correlaciones propuestas por Kishida (1966), Wolf (1989), Stroud (1974), y resultados de ensayos triaxiales CU de laboratorio.

La correlación del ángulo de fricción respecto del ensayo SPT para limos y arcillas es:

$$\phi' = 15 + [12.5 (N_1)_{60}]^{0.5} \dots\dots\dots \text{Kishida (1966).}$$

La correlación del ángulo de fricción interna para arenas y gravas respecto a los ensayos SPT es:

$$\phi' = 27.1 + 0.3 (N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2 \dots\dots\dots \text{Wolf (1989)}$$

La correlación de la resistencia no drenada en arcillas respecto a los ensayos SPT es:

$$Cu = 4.4 (N60) \dots\dots\dots \text{Stroud (1974).}$$

Obteniéndose como resultados la Tabla 7.5.

Tabla 7.5: Parámetros de Resistencia de Suelo.

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)		Clasificación SUCS	Nombre del Grupo	SPT N60	φ (°) Arcillas y Limos	φ (°) Arenas y Gravos	Cu (Kpa) Arcillas y Turba
		Desde	Hasta						
SG-PF-07B	SPT-02	3.00	3.45	Pt	Turba	1	19		4
	SPT-03	4.50	4.95	SC	Arena arcillosa con grava	28		35	
	LPT-01	6.00	6.46	SC	Arena arcillosa con grava	27		35	
	SPT-04	7.50	7.95	CL-ML	Arcilla y limo arenoso	4	22		18
	SPT-05	9.00	9.45	CL-ML	Arcilla y limo arenoso	1	19		4
	SPT-06	10.50	10.95	CL-ML	Arcilla y limo arenoso	2	20		9
	SPT-07	12.00	12.45	OL	Limo orgánico	15	29		66
	SPT-08	13.50	13.95	OL	Limo orgánico	5	23		22
	LPT-02	15.00	15.45	GC	Grava arcillosa con arena	22		33	
	LPT-03	17.00	17.45	SM	Arena limosa	3		28	
	SPT-09	19.40	19.85	SC-SM	Arena limo arcillosa con grava	4		28	
	SPT-10	21.00	21.13	CL-ML	Limo y arcilla arenosa	50	40		
	SPT-11	22.50	22.95	OL	Limo orgánico con arena	6	24		26
	SPT-12	24.00	24.45	SM	Arena limosa con grava	21		33	
	LPT-04	26.50	26.95	SM	Arena limosa con grava	43		39	
	SPT-13	28.00	28.45	SM	Arena limosa con grava	9		30	
	SPT-14	29.00	29.45	SM	Arena limosa	46		40	
SPT-15	31.00	31.45	ML	Limo arenoso	6	24		26	
SPT-16	32.50	32.95	SM	Arena limosa con grava	23		34		
SPT-17	34.00	34.45	SP-SM	Arena pobre gradada con limo y grava	36		37		
SG-PF-05	SPT-01	3.00	3.45	CL-ML	Arcilla limosa con arena	2	20		9
	SPT-02	6.00	6.45	CL-ML	Arcilla limosa con arena	7	24		31
	SPT-03	7.50	7.95	CL-ML	Arcilla limosa con arena	6	24		26
	SPT-04	9.00	9.45	CL	Arcilla con arena	3	21		13
	SPT-05	12.00	12.45	SC-SM	Arena limosa arcillosa	4		28	
	SPT-06	13.50	13.95	SC-SM	Arena limosa arcillosa	2		28	
	SPT-07	15.00	15.45	CL	Arcilla con arena	10	26		44
	SPT-08	16.50	16.95	CL	Arcilla con arena	10	26		44
	SPT-09	18.00	18.45	SC	Arena arcillosa	7		29	
	SPT-10	21.00	21.45	SC	Arena arcillosa	10		30	
	SPT-11	22.50	22.95	SC	Arena arcillosa	12		31	
	SPT-12	24.00	24.45	SC	Arena arcillosa	11		30	
	SPT-13	26.00	26.45	GC	Grava arcillosa con arena	19		33	
	SPT-14	27.50	27.95	SC	Arena arcillosa	14		31	
	SPT-15	29.00	29.45	SC	Arena arcillosa	9		30	
	SPT-16	30.50	30.95	SC-SM	Arena limo arcillosa	9		30	
	SPT-17	33.50	33.95	SC-SM	Arena limo arcillosa	30		36	
	SPT-18	35.00	35.35	SC-SM	Arena limo arcillosa	50		41	
	SPT-19	36.50	36.90	SC-SM	Arena limo arcillosa	50		41	
LPT-01	38.00	38.45	SC-SM	Arena limo arcillosa	16		32		
LPT-02	39.50	39.95	SC-SM	Arena limo arcillosa	22		33		
SG-PF-08	CP-01	8.00	8.12	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	50		41	
	CP-02	10.40	10.85	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	33		36	
	CP-03	12.60	13.05	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	28		35	
	CP-04	14.05	14.50	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	36		37	
	CP-05	16.00	16.13	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	50		41	
	CP-06	18.60	18.73	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	50		41	
	CP-07	21.50	21.78	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	50		41	
	CP-08	24.60	24.82	GC-GM	Grava limo arcillosa con arena	50		41	
SG-PF-03	CP-01	1.50	1.95	GM	Grava limosa con arena	15		31	
	CP-02	3.00	3.45	GM	Grava limosa con arena	13		31	
	CP-03	4.50	4.95	GM	Grava limosa con arena	17		32	
	CP-04	6.1	6.55	GM	Grava limosa con arena	22		33	
	CP-05	8.00	8.45	GM	Grava limosa con arena	11		30	
	CP-06	11.20	11.25	GM	Grava limosa con arena	50		41	
	CP-07	12.50	12.55	GM	Grava limosa con arena	50		41	
	CP-08	14.00	14.02	GM	Grava limosa con arena	50		41	

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)		Clasificación SUCS	Nombre del Grupo	SPT N60	φ (°) Arcillas y Limos	φ (°) Arenas y Gravetas	Cu (Kpa) Arcillas y Turba
		Desde	Hasta						
SG-PF-01	SPT-01	4.10	4.55	Pt		0	15		0
	SPT-02	4.90	5.30	Pt	Turba	0	15		0
	SPT-03	7.50	7.95	GW-GM	Grava bien Gradada con limo y arena	27		35	
	SPT-04	10.50	10.95	CL	Arcilla poca Arena	2	20		9
	LPT-01	13.00	13.45	SC	Arena arcillosa	11		30	
	LPT-02	15.10	15.50	SW-SM	Arena bien gradada con limo y grava	32		36	
	LPT-03	17.00	17.45	CL	Arcilla con arena y grava	5	23		22
	CP-01	23.10	23.55	SC	Arena arcillosa	32		36	
	LPT-04	25.00	25.45	SC	Arena limosa	5		29	
	LPT-05	26.50	26.95	CH	Arcilla orgánica con arena	7	24		31
SG-PF-02	SPT-05	28.00	28.38	SC	Arena arcillosa con grava	50		41	
	LPT-06	29.50	29.95	CL	Arcilla poca arena	16	29		70
	SPT-06	31.45	31.90	CL	Arcilla con arena	11	27		48
	SPT-07	33.40	33.85	CH	Arcilla con arena	8	25		35
	SPT-08	36.20	36.65	SC	Arena arcillosa con grava	50		41	
	SPT-09	37.50	37.95	CL	Arcilla con grava y arena	11	27		48
	SPT-10	39.45	39.90	CL	Arcilla con arena	11	27		48
	SPT-01	3.00	3.45	SC	Arena arcillosa con grava	15		31	
	SPT-02	4.95	5.40	CL	Arcilla con arena	10	26		44
	SPT-03	6.90	7.35	SC-SM	Arena limo arcillosa con grava	10		30	
	LPT-01	8.85	9.30	SM	Arena limosa	14		31	
	SPT-04	11.50	11.95	SM	Arena limosa con grava	13		31	
	LPT-02	13.00	13.45	GC	Grava arcillosa con arena	21		33	
	SPT-05	14.50	14.95	SM	Arena limosa	34		37	
	LPT-03	16.00	16.45	GC	Grava arcillosa con arena	16		32	
	LPT-04	17.50	17.95	SC	Arena arcillosa con grava	16		32	
	LPT-05	19.00	19.45	SM	Arena limosa	14		31	
	SPT-06	21.00	21.45	SC	Arena arcillosa con grava	13		31	
SPT-07	22.50	22.95	CL	Arcilla con arena	15	29		66	
SPT-08	24.34	24.57	CL	Arcilla con arena	50	40			
LPT-06	26.50	26.95	SC	Arena arcillosa	10		30		
SPT-09	28.00	28.45	CL	Arcilla con arena	6	24		26	
SPT-10	29.50	29.95	SC	Arena arcillosa	10		30		
LPT-07	31.00	31.45	CL	Arcilla con arena	5	23		22	
SPT-11	32.50	32.95	CL	Arcilla con arena	7	24		31	
SPT-12	34.00	34.45	CL	Arcilla con arena	36	36			
SPT-13	35.50	35.95	CH	Arcilla	9	26		40	
SPT-14	37.00	37.45	CL	Arcilla con arena	18	30		79	
LPT-08	40.00	40.45	SC	Arena arcillosa con grava	41		38		

7.5. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Luego de realizar las investigaciones superficiales y las exploraciones mediante geofísica y sondajes se realizó la zonificación geotécnica, definiéndose Once (11) Unidades Geotécnicas, las que muestran en el Plano 15, y se describen a continuación.

7.5.1. Unidad Geotécnica GEOT-01.

Ubicada en la zona plana a semiplana de la zona de cimentación, lo conforma el suelo con Clasificación SUCS de Turba (Pt), la que tiene

una profundidad que varía de dos (2) a seis (6) metros de espesor, con velocidades de la Onda de Corte (V_s) menores a 150 m/s y velocidades de Ondas P (V_p) menores a 500 m/s. El mayor espesor se observa en la parte central del valle a la altura del eje principal de la presa y disminuyendo el espesor agua arriba y también aguas abajo hasta desaparecer. En algunas zonas se tiene un considerable aumento en el contenido de arcilla y limo, sin embargo predominando la materia orgánica. Los ensayos SPT en esta unidad el muestreador baja con el peso de la tubería y el martillo, demostrando que es un suelo muy blando. El suelo se encuentra completamente saturado, observándose acumulaciones de agua en superficie en varios lugares.

7.5.2. Unidad Geotécnica GEOT-02.

Ubicada en el flanco izquierdo y a ambos lados del eje principal de la presa, corresponde a un cono aluvial, tiene un espesor que varía de 10 a 14 metros, conformada Grava limosa con arena suelta, con velocidad de la onda de corte menor a 300m/s, velocidad de la onda P menor a 1000 m/s, los N60 (del ensayo SPT) tienen valores entre 11 y 50, los valores son altos por la presencia de grava gruesa a pesar de esto el suelo tiene una compacidad suelta a compacta, no se observa nivel de agua, la conductividad hidráulica varía de 2.19×10^{-2} cm/s hasta los 10 metros de profundidad, y 5.20×10^{-5} cm/s de 10 a 14 metros.

7.5.3. Unidad Geotécnica GEOT-03.

Se ubica debajo de la unidad GEOT-01 y se extiende más allá que ésta, corresponde a la parte superior del depósito fluvial formado por la depositación de sedimentos transportados por las quebradas Fraylones y La Florida, está conformado por arena arcillosa suelta, grava arcillosa suelta y delgados lentes de arcilla blanda, tiene un espesor que varía de siete (7) a catorce (14) metros, en la zona de cimentación se encuentra de 4 a 14 metros de profundidad; la

velocidad de ondas de corte (V_s) en esta unidad varía de 150 a 450m/s y las ondas P (V_p) de 500 a 1200m/s, tiene una conductividad hidráulica que varía de 6.36×10^{-8} a 1.59×10^{-7} , el ángulo de fricción interna (Φ) varía de 20 a 29° y cohesión no drenada (C_u) que varía de 9 a 66 KPa.

7.5.4. ad Geotécnica GEOT-04.

Ubicada por debajo de la unidad GEOT-03, corresponde a la parte inferior del depósito fluvial formado por las quebradas Fraylones y La Florida, tiene un espesor muy variable entre treinta y tres (33) y cuarenta y cinco (45) metros disminuyendo en espesor hacia el eje central de la presa para finalmente desaparecer hacia el límite de cimentación agua abajo, está conformada por grava arcillosa, arena arcillosa y arena limosa, tiene una compactación media (compacta), con velocidad de onda P (V_p) entre 1200 a 3000m/s, velocidad de onda de corte (V_s) que varía de 450 a 750m/s, conductividad hidráulica de 6.15×10^{-5} a 5.52×10^{-4} , ángulo de fricción interna (Φ) entre 24 y 40°, la cohesión no drenada (C_u) para arcillas varía de 22 a 66KPa.

7.5.5. Unidad Geotécnica GEOT-05.

Corresponde a suelos residuales provenientes de la desintegración de las lutitas, limolitas y areniscas, está conformado por arena arcillosa densa y arcilla con arena firme, la velocidad de ondas P (V_p) varía de 3000 a 3500m/s, el ángulo de fricción (Φ) varía de 24 a 38°, la cohesión no drenada (C_u) para las arcillas varía de 31 a 79KPa, tiene una conductividad hidráulica que varía de 6.15×10^{-7} a 3.30×10^{-4} .

7.5.6. Unidad Geotécnica GEOT-06.

Se encuentra en el flanco derecho muy próxima al eje principal de cimentación, está conformada por la meteorización de horizontes de carbón y lutita carbonosa, tiene un RQD menor a 25%, la matriz

rocosa tiene resistencia extremadamente débil, se encuentra muy meteorizada, considerando en campo un GSI que varía de 20 a 25 y un RMR89 menor a 20; por lo tanto un macizo rocoso Muy Malo.

7.5.7. Unidad Geotécnica GEOT-07.

Se encuentra en el flanco izquierdo, por debajo de la unidad geotécnica 08, está conformado por areniscas cuarzosa, medianamente dura, ligeramente meteorizada, con RQD que varía de 25 a 50%, considerando un GSI entre 46 y 55, y un RMR89 entre 41 y 60; por lo tanto el macizo rocoso es de calidad Regular.

7.5.8. Unidad Geotécnica GEOT-08.

Corresponde a las areniscas extremadamente fracturada llegando en algunos lugares a triturada, ubicada principalmente en el flanco izquierdo, este intenso fracturamiento está muy relacionado a zonas de cizalla encontradas en la zona, tiene un RQD menor a 25%, la roca intacta es medianamente dura, ligeramente meteorizada, en campo se consideró un GSI entre 35 y 45, y según cálculos un RMR89 que puede variar de 21 a 40; por lo tanto es un macizo rocoso de calidad Mala.

7.5.9. Unidad Geotécnica GEOT-09

Se encuentra coincidiendo con el eje principal de cimentación, corresponde a arenisca cuarzosa, medianamente dura, ligeramente meteorizada, poco fracturada, con un RQD entre 50 y 75%, un GSI entre 55 y 65, el RMR89 entre 61 y 80; por lo tanto es un macizo rocoso de calidad Buena.

7.5.10. Unidad Geotécnica GEOT-10.

Ubicada aguas arriba del eje de cimentación, conformado por intercalaciones de lutitas carbonosas, limolitas y delgados estrato de arenisca, débil a muy débil, moderadamente meteorizada, con RQD

entre 25 y 50%, un GSI entre 46 y 60 y un RMR entre 41 y 60. El macizo rocoso es de calidad Regular.

7.5.11. Unidad Geotécnica GEOT-11.

Se ubica aguas abajo del eje principal de cimentación, corresponde al depósito fluvial formado por la depositación de sedimentos arrastrados por el Río Yamobamba, está conformado por grava arcillosa, grava limosa y arena arcillosa con cantidades considerables de cantos y bloques subangulosos a subredondeados (20 – 30%); tienen un compacidad densa a muy densa, la velocidad de onda de corte (V_s) varía de 300 a 4500m/s, la velocidad de ondas P (V_p) varía de 1000 a 4500m/s, tiene una conductividad hidráulica entre 8.63×10^{-7} y 8.49×10^{-4} , el ángulo de fricción interna (Φ) varía de 35 a 41°.

7.6. ESTRIBO DERECHO

El estribo derecho está por arenisca cuarzosa medianamente dura, moderadamente meteorizada con Dip Direction en promedio de 64° y Dip 68° un RQD entre 55 y 65%, la roca intacta es medianamente dura, ligeramente meteorizada, poco fracturada, con un GSI entre 45 y 65; RMR89 entre 61 y 80. Por lo tanto es un macizo rocoso de Buena Calidad.

En superficie se puede observar una pequeña capa de roca meteorizada, y muy cerca al eje principal de cimentación se encuentran capas de carbón y lutitas carbonosas.

7.7. ZONA CENTRAL

La zona central de fundación se encuentra en depósitos fluviales, que tienen comportamiento diferentes aguas arriba con respecto a aguas abajo.

- Aguas Arriba del Eje.

La zona de fundación de la presa tiene una horizonte superficial conformado por Turba (Pt) con un espesor que varía entre dos (2) y seis (6) metros, esta unidad geotécnica tiene un comportamiento blando.

Debajo del horizonte de Turba se encuentra una unidad de intercalaciones de Arena Arcillosa (SC), Grava Arcillosa (GC) y Arcilla con arena (CL), la arena y grava tiene una compacidad suelta y la arcilla una consistencia blanda, con Índice de Plasticidad (IP) entre 4 y 27%, contenido de humedad entre 14.4 y 45.10%, Angulo de Fricción Interna (Φ) entre 20 y 29°, Cohesión No Drenada (Cu) entre 9 y 66KPa.

Desde una profundidad de catorce metros (14m) hasta una profundidad promedio de treinta y dos metros (32m), se encuentra una secuencia de Grava arcillosa (GC), Arena arcillosa (SC) y Arena limosa (SM), compacta; también se encuentra delgados lentes de Arcilla con arena (CL) firme, con Índice de Plasticidad entre 9 y 30%, Contenido de Humedad entre 16 y 48%, el Angulo de Fricción Interna (Φ) entre 24 y 40°, Cohesión No Drenada (Cu) entre 22 y 66KPa en arcillas.

Desde los treinta y dos (32) metros hasta sesenta (60) metros de profundidad hasta se encuentra una capa de suelo residual, producto de la meteorización de lutitas, limolitas y areniscas, el suelo resultante es Arena Arcillosa (SC) y Arcilla con Arena (CL), la arena es de compacidad densa y la arcilla de consistencia firme a dura, tiene Ángulos de Fricción Interna (Φ) entre 24 y 38° y Cohesión No Drenada en arcillas entre 31 y 79KPa.

Debajo de los sesenta (60) metros se encuentra roca lutita carbonosa, intercalada con limolitas y delgados estratos de arenisca.

- **Aguas Abajo del Eje.**

Aguas abajo del eje principal de la presa se encuentra un depósito fluvial formado por la depositación de sedimentos arrastrados por el Río Yamobamba, el suelo está formado por Grava arcillosa (GC) y Grava limosa (GM) con arena, con cantidades considerables de cantos y bloques (20 – 30%), estos suelos tienen un compacidad densa a muy densa, con Angulo de Fricción Interna (Φ) entre 35 y 41°. Este suelo se puede encontrar hasta una profundidad de ciento once (111) metros.

Debajo de este depósito se encuentra la roca arenisca cuarzosa medianamente dura y ligeramente meteorizada.

7.8. ESTRIBO IZQUIERDO

En la base del estribo izquierdo se encuentra un depósito aluvial en forma de cono, conformado por Grava limosa con arena (GM), suelta, hasta una profundidad de catorce metros (14m).

En la parte alta del estribo se tiene roca arenisca cuarzosa, medianamente dura, ligeramente meteorizada, extremadamente fracturada incluso llegando a triturada, considerando en campo un GSI entre 35 y 45, el RMR está entre 21 y 40, con un RQD < 25%. Este macizo rocoso es de calidad Mala. Este tipo de macizo se extiende a ambos lados de las zonas de cizalla producto de la cual se produce el extremo fracturamiento.

También se tiene en el flanco izquierdo arenisca cuarzosa medianamente dura, ligeramente meteorizada, fracturada, con GSI entre 46 y 65, RMR entre 41 y 60, RQD entre 25 y 50%. El macizo rocoso de calidad Regular.

CONCLUSIONES

- La zona de la futura presa de relaves de la Arena es un valle semi-cerrado conformado por la confluencia de las quebradas Fraylones y La Florida, no presenta mayores problemas de estabilidad y condiciones apropiadas de estanqueidad del vaso.
- En la zona central en el eje de la presa se tiene una zona de inundación conformada por suelos de origen fluvial cubiertos en gran parte por suelos orgánicos mayormente turba.
- Los macizos de areniscas en ambos flancos del cierre principal se encuentran disturbados, específicamente el flanco izquierdo, donde la meteorización erosiona fácilmente las areniscas y dan lugar a la formación de suelos arenosos, depósitos de coluvio – aluviales y en caso extremo formación de cárcavas.
- En la zona de la presa las areniscas cuarzosas se encuentran buzando en dirección NE, hacia el valle del río Yamobamba, estas areniscas son de grano grueso, limpias, con laminaciones, e intercaladas con capas de carbón y limolitas con fracturamiento moderado a fuerte.
- Los suelos en la zona central del eje de presa tienen dos eventos bien marcados y sus límites se encuentran cercanos al eje de presa: Agua arriba del eje se tiene un depósito fluvial conformado por arenas y gravas limoarcillosas, el cual fue formada por las quebradas Fraylones y la Florida. Aguas abajo del eje de la presa se encuentra un depósito fluvial conformado por gravas y arenas limoarcillosos con gran contenido de cantos y bloques, este depósito fue formado por el río Yamobamba.
- En la zona de cimentación se tiene una capa superficial de turba que llega hasta los seis metros de espesor, debajo de esta se encuentra un depósito fluvial que en su parte superficial y hasta una profundidad catorce metros se encuentran sueltos y de catorce a sesenta metros tiene un comportamiento

compacto a denso. Debajo de este se encuentra el macizo rocoso compuesto por arenisca cuarzosa de la formación Chimú.

- Se realizó la zonificación geotécnica, determinándose once (11) unidades geotécnicas; seis (06) unidades geotécnicas en suelo y cinco (05) unidades geotécnicas en roca.

RECOMENDACIONES

- Retirar la capa superficial de suelo de origen fluvial hasta una profundidad de catorce (14) metros, el cual se encuentra suelto y con horizontes de arcilla.
- Consolidar e impermeabilizar el suelo y roca mediante inyecciones de una cortina de grout, hasta una profundidad de cien metros.
- Mejorar las características de las areniscas fracturadas en ambos estribos de la presa, mediante inyección de agua cemento, el cual se deberá realizar de abajo hacia arriba.
- Retirar los depósitos coluviales y escombros de ambos estribos.
- Realizar estudios de canteras para determinar la posibilidad de contruir una presa de gravedad con materiales sueltos.

BIBLIOGRAFÍA

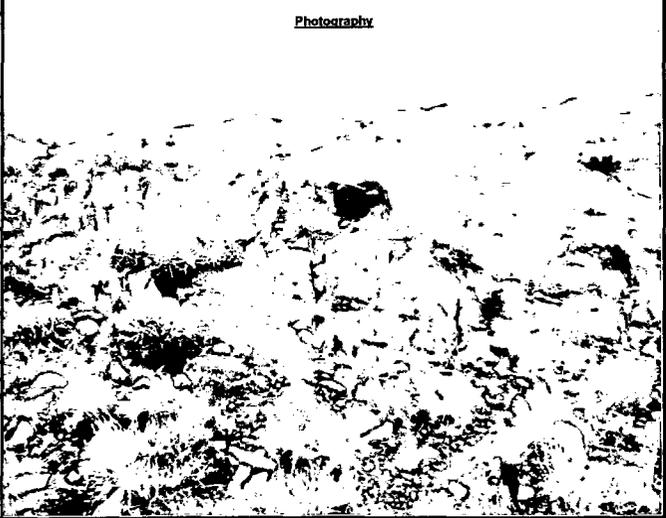
- Arce, José. (1973). Estudio geofísico de resistividad eléctrica acuífero Capillüne, Suches. Lima – Perú.
- Arce, J. (2002). Boletín Perfiles Geofísicos. Lima Perú.
- Bieniawski ZT (1989). Engineering Rock Mass Classifications - New York.
- Gonzales de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica, Editorial PEARSON - Madrid – España.
- ICOLD (2001). Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial. Barcelona – España.
- Jorge Briones Gutierrez (1994). Presas de Tierra y Enrocado – Resistencia a la falla por Filtración /, Lima – Perú.
- Kishida H., 1969. Characteristics of Liquefied Sands During Mino-Owari, Tohankai, and Fukui Earthquakes, Soil and Foundation, IX, N° 1, pp. 75-92.
- MEM (Ministerio de Energía y Minas 2004), Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros. Lima – Perú.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú (2002). Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros /, Lima –Perú.
- Proyecto Cerro Verde 2004. Diseño a nivel de Factibilidad de la Presa de Relaves / Arequipa – Perú.
- Ramirez, N. (2003). *SERNAGEOMIN*. Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves. Chile.

- Robin Fell, Patrick Macgregos, David Stapledon y Graeme Bell (2005). Geotechnical Engineering of Dams /, Tasmania – Australia.
- Sampieri (2010) Metodología de la Investigación Científica, Lima - Perú.

ANEXOS

ANEXO 01
Clasificación Geomecánica

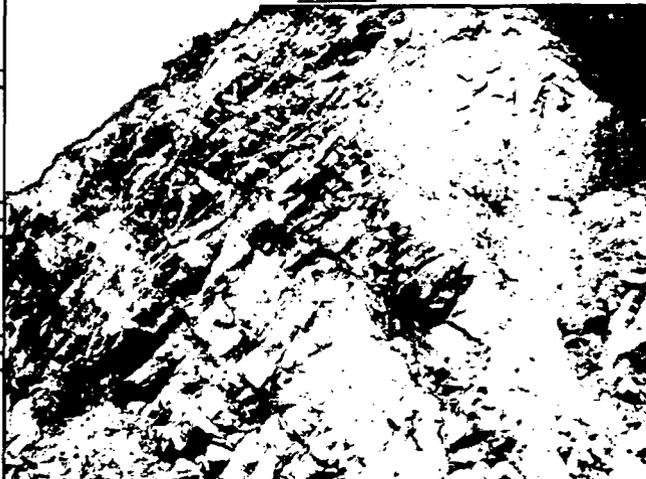
CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG-02		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II - GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION										
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817855 N: 9122700		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)						
Conducted by: F. Cruzado		Date: 27-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER				DESCRIPTION		VALUE				
I. - ROCK MASS CHARACTERIZATION						Very low: < 1m				Strength of Intact rock				Estimado con el martillo de Geólogo		7		
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL						Low: 1 - 3m				R.Q.D.				Estimado por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso		20		
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.						Medium: 3 - 10m				Spacing of discontinuities				Desde menor de 60mm hasta 200mm		8		
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality	90-100%		High: 10 - 20m				Discontinuity conditions				Persistence		Mayor de 20m.	0	
Very High:	Over 250	>10	Good quality	75-90%		Very High: >20m				Separation				0.1mm a 0.25mm.		3		
High:	100-250	4-10	Fair quality	50-75%		SEPARATION (APERTURE)				Roughness				Ligeramente Rugosa		3		
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality	25-50%		Very tight < 0.1mm				Infilling				Óxido		4		
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality	<25%		Tight 0.1 - 0.25 mm				Weathering				Ligeramente Meteorizada		5		
Low:	5-25	<1				Partly open 0.25 - 0.5 mm				Groundwater				Seco		15		
Very Low:	1-5					Open 0.5 - 2.5 mm				Basic RMR						65		
Extremely Low:	<1					Moderately wide 2.5 - 10 mm				Rating adjustment for discontinuity orientation								
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 7						Wide 1 - 10 cm				RMR Total Rating				Rock mass class and Description		Average stand - up time	Cohesion of the rock mass kPa	Friction angle of the rock mass (°)
Ruc (MPa) = RMR						Very wide 10 - 100 cm				65				II - Buena		-	-	-
Extremely wide > 100 cm						Extremely wide > 100 cm				Photography								
DIP AND DIP DIRECTION						ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				Very rough surfaces:P.....								
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY	Rough surfaces:P.....												
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)	Slightly rough surfaces:P.....												
Set 1	39°	39°	62° - 64°	63°	Estratificación	Smooth surfaces:P.....												
Set 2	70° - 87°	79°	136° - 151°	144°	Fracturamiento Principal	Slickensided surfaces:P.....												
Set 3	58° - 60°	59°	263° - 276°	270°	Fracturamiento Secundario	IN FILLING (GOUGE)				Type:Ox.....								
Set 4						Type:Ox.....				Thickness (mm)<1mm.....								
SPACING OF DISCONTINUITIES						Uniaxial compressive strength (MPa)												
TERM	SPACING (mm)		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)											
Very Wide:	> 2000						Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)											
Wide:	600 - 2000						WALL ROCK OF DISCONTINUITIES											
Moderate:	200 - 600		X	X	X		UnweatheredX.....											
Close:	60 - 200			X			Slightly weatheredX.....											
Very close:	20 - 60						Moderately weatheredX.....											
Extremely close	< 20						Highly weatheredX.....											
							Completely weatheredX.....											
							Residual soil											
GROUNDWATER						IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS												
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)		Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)		General Conditions		Sin evidencia.												
None	0	0	Completely dryX.....														
< 10	< 0.1	< 0.1	DampX.....														
10 - 25	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	WetX.....														
25 - 125	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5	DrippingX.....														
> 125	> 0.5	> 0.5	FlowingX.....														
SCHMIDT HAMMER TEST						OUTCROP DESCRIPTION												
Hammer rebound			Inclination to the horizontal:			Aforamiento se encuentra en la zona del flanco derecho de la Presa Fraylones, mirando hacia la Qda. Fraylones, cerca a la cresta. La roca es Arenisca Cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.												
B1	B6		Unit weight intact rock (kN/m ³):															
B2	B7		Hammer rebound average:															
B3	B8		Uniaxial compressive strength estimated (MPa)															
B4	B9																	
B5	B10																	

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 03		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II. - GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION				
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817790 N: 9122492		Set 1		Set 2		Set 3		Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)		
Conducted by: F. Cruzado		Date: 28-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER				
I. - ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m				DESCRIPTION				
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				Strength or intact rock				
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				Estimado con el martillo de Geólogo				
Designation				High: 10 - 20m				R.Q.D.				
Uniaxial compressive strength (MPa)				Very High: > 20m				Estimado por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso				
Point-load strength Index (MPa)				Very High: Over 250				Spacing of discontinuities				
Excellent quality 90-100%				High: 100-250				Menor de 20mm.				
Good quality 75-90%				Medium High: 50-100				Persistence				
Fair quality 50-75%				Moderate: 25-50				Mayor de 20m.				
Poor quality 25-50%				Low: 5-25				Separation				
Very poor quality <25%				Very Low: 1-5				10cm - 100cm				
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 35				Extremely Low: < 1				Roughness				
R.Q.D. (%) = 0.00				SEPARATION (APERTURE)				Suave				
one (MPa) = RMR				Very tight < 0.1mm				Infilling				
DIP AND DIP DIRECTION				Tight 0.1 - 0.25 mm				Weathering				
SET				Partly open 0.25 - 0.5 mm				Groundwater				
FROM - TO				Open 0.5 - 2.5 mm				Basic RMR				
AVERAGE				Moderately wide 2.5 - 10 mm				16				
DIP DIRECTION				Wide 1 - 10 cm				Rating adjustment for discontinuity orientation				
FROM - TO				Very wide 10 - 100 cm				RMR Total Rating				
AVERAGE				Extremely wide > 100 cm				Rock mass class and Description				
TYPE OF DISCONTINUITY				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				Average stand - up time				
(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)				Very rough surfaces:				Cohesion of the rock mass kPa				
Set 1				Rough surfaces:				Friction angle of the rock mass (°)				
Set 2				Slightly rough surfaces:				16				
Set 3				Smooth surfaces:				V - Muy Mala				
Set 4				Slickensided surfaces:				-				
SPACING OF DISCONTINUITIES				INFILLING (GOUGE)				Photography				
TERM				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Silt (St), Gypsum (Gy)								
SPACING (mm)				Type: Thickness (mm)								
Set 1				Uniaxial compressive strength (MPa)								
Set 2				Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)								
Set 3				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES								
Set 4				Unweathered								
Very Wide: > 2000				Slightly weathered								
Wide: 600 - 2000				Moderately weathered								
Moderate: 200 - 600				Highly weathered								
Close: 60 - 200				Completely weathered								
Very close: 20 - 60				Residual soil								
Extremely close: < 20				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS								
GROUNDWATER				Zona de Falla subvertical con relleno de panizo de 40cm. Rocas caja circundante es Arenisca y Lutita con Inters fracturamiento a extremadamente fracturado. Clastos de Arenisca de 1/2cm a 4cm en una matriz limoarcillosa.								
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)				Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)								
None				Completely dry								
< 10				Damp								
10 - 25				Wet								
25 - 125				Dripping								
> 125				Flowing								
SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION								
Hammer rebound				Inclination to the horizontal:								
B1				Unit weight intact rock (kN/m ³):								
B2				Hammer rebound average:								
B3				Uniaxial compressive strength estimated (MPa)								
B4				Allotamiento expuesto en zona de cantera, de aproximadamente 40 mts de zona de cizalla. Abundante zonas de oxidación. Roca intacta: Arenisca y Lutita, gris claro a gris pardusco, extremadamente frágil a muy frágil, moderada a muy meteorizada.								
B5												

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N° EG - 04		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II.- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION					
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817891 N: 9122625		Set 1 Set 2 Set 3 Set 4				Rock Mass Rating System - RMR (Bieniowski, Z. - 1989)					
Conducted by: F. Cruzado		Date: 28-oct-13		PERISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER DESCRIPTION VALUE					
I.- ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m				Strength of intact rock Estimado con el martillo de Geólogo 4					
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				R.Q.D. Estimado por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso 13					
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				Spacing of discontinuities 60mm - 200mm 8					
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality 90-100%	Very High: > 250		Good quality 75-90%		Discontinuity conditions					
Very High:	Over 250	>10	Fair quality 50-75%	High: 100-250		Poor quality 25-50%		Persistence Mayor de 20m. 0					
High:	100-250	4-10	Very poor quality <25%	Medium High: 50-100		Very poor quality <25%		Separation 0.5mm - 2.5mm 1					
Medium High:	50-100	0-4		Moderate: 25-50				Roughness Rugosa 5					
Moderate:	25-50	1-2		Low: 5-25				Infilling Relleno duro <5mm 4					
Low:	5-25	<1		Very Low: 1-5				Weathering Ligeramente Meteorizada 5					
Very Low:	1-5			Extremely Low: < 1				Groundwater Seco 15					
Extremely Low:	< 1			R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 20				Basic RMR 55					
σ _{uc} (MPa) = IMR		R.Q.D. (%) = 49		SEPARATION (APERTURE)				Rating adjustment for discontinuity orientation					
DIP AND DIP DIRECTION				Very tight < 0.1mm				RMR Total Rating					
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY				Rock mass class and Description				
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)				Average stand - up time				
Set 1	48° - 59°	54°	54° - 55°	55°	Estratificación				Cohesion of the rock mass kPa				
Set 2	38° - 54°	46°	240° - 258°	249°	Fracturamiento Principal				Friction angle of the rock mass (°)				
Set 3	59° - 79°	69°	143° - 185°	164°	Fracturamiento Secundario				Photography				
Set 4													
SPACING OF DISCONTINUITIES				Tight 0.1 - 0.25 mm				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)					
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Very rough surfaces: P P P				Type: Ox Ox Ox			
Very Wide:	> 2000					Rough surfaces: X X X				Thickness (mm) <2mm <1mm <1mm			
Wide:	600 - 2000					Slightly rough surfaces: X X X				Uniaxial compressive strength (MPa)			
Moderate:	200 - 600	X			X	Smooth surfaces: X X X				Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)			
Close:	60 - 200		X		X	Slack-sided surfaces: X X X				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)			
Very close:	20 - 60									WALL ROCK OF DISCONTINUITIES			
Extremely close	< 20									Unweathered			
GROUNDWATER				Moderately weathered				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS					
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)	General Conditions		3 Sistemas de Discontinuidades. No se aprecian fallas cercanas.				OUTCROP DESCRIPTION					
None	0	Completely dry X		Afloramiento expuesto en zona de cantera cerca del acceso. Arenisca Cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura a dura, ligeramente a muy meteorizada. Presenta niveles lutáceos alternando con paquetes de areniscas.									
< 10	< 0.1	Damp											
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet											
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping											
> 125	> 0.5	Flowing											
SCHMIDT HAMMER TEST				Highly weathered									
Hammer rebound				Completely weathered									
B1	B6	Inclination to the horizontal:		Unif weight intact rock (kNm ²):									
B2	B7	Inclination to the horizontal:		Hammer rebound average:									
B3	B8	Inclination to the horizontal:		Uniaxial compressive strength estimated (MPa)									
B4	B9	Inclination to the horizontal:											
B5	B10	Inclination to the horizontal:											

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 05		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II - GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION			
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817685 N: 9122722						Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)			
Conducted by: F. Cruzado		Date: 30-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER			
I. - ROCK MASS CHARACTERIZATION				Set 1				Set 2			
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Set 3				Set 4			
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Very low: < 1m				Strength or intact rock			
Designation				Low: 1 - 3m				Estimated con el martillo de Geólogo			
Uniaxial compressive strength (MPa)				Medium: 3 - 10m				R.Q.D.			
Point-load strength index (MPa)				High: 10 - 20m				Estimado por el número de discontinuidades por m ² del Macizo Rocoso			
Very High: Over 250				Very High: > 20m				Spacing of discontinuities			
High: 100-250								20mm - 60mm			
Medium High: 50-100								Persistence			
Moderate: 25-50								> 20m			
Low: 5-25								Separation			
Very Low: 1-5								< 0.1mm			
Extremely Low: < 1								Roughness			
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv				Jv = 34				Infilling			
R.Q.D. (%) = 3								Weathering			
σ _{uc} (MPa) = IMR								Groundwater			
								Seco			
								Basic RMR			
								45			
DIP AND DIP DIRECTION				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				Rating adjustment for discontinuity orientation			
SET				Very rough surfaces:				RMR Total Rating			
FROM - TO				Tight				Rock mass class and Description			
AVERAGE				Parity open				Average stand - up time			
DIP DIRECTION				Open				Cohesion of the rock mass kPa			
FROM - TO				Moderately wide				Friction angle of the rock mass (°)			
AVERAGE				Wide				45			
TYPE OF DISCONTINUITY				Very wide				III - Media			
(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)				Extremely wide							
Set 1				Very rough surfaces:							
45° - 50°				Rough surfaces:							
54°				Slightly rough surfaces:							
85° - 75°				Smooth surfaces:							
70°				Slickensided surfaces:							
Estratificación											
Set 2				IN FILLING (GOUGE)							
39° - 43°				Type:							
41°				Thickness (mm)							
244° - 248°				Uniaxial compressive strength (MPa)							
246°				Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)							
Fracturamiento				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Si), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)							
Set 3				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES							
70° - 80°				Unweathered							
75°				Slightly weathered							
355° - 360°				Moderately weathered							
358°				Highly weathered							
Fracturamiento				Completely weathered							
Set 4				Residual soil							
85° - 90°											
87°											
300° - 320°											
310°											
Fracturamiento											
SPACING OF DISCONTINUITIES				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS				Photography			
TERM				Inflow per 10 m tunnel length (L/min)							
SPACING (mm)				Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)							
Set 1				General Conditions							
Set 2											
Set 3											
Very Wide: > 2000				None				4 Sistemas de Discontinuidades. Muy a estrechamente fracturada por encontrarse cercana a zona de cizalla.			
Wide: 600 - 2000				< 10							
Moderate: 200 - 600				10 - 25							
Close: 60 - 200				25 - 125							
Very close: 20 - 60				> 125							
Extremely close: < 20											
GROUNDWATER				SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION			
				Hammer rebound				Afloramiento expuesto en la carretera a La Florida. Arenisca gris blanquecina, de grano medio, frágil a medianamente, ligeramente a moderadamente. Presenta niveles lutáceos alternando con paquetes de areniscas.			
				Inclination to the horizontal:							
				Unit weight intact rock (kN/m ³):							
				Hammer rebound average:							
				Uniaxial compressive strength estimated (MPa)							
B1				B6							
B2				B7							
B3				B8							
B4				B9							
B5				B10							

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 06		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II. GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION				
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817847 N: 9122901		Set 1 Set 2 Set 3 Set 4				Rock Mass Rating System - RMR (Bianlawski, Z. - 1989)				
Conducted by: F. Cruzado		Date: 27-oct-13		PERISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER DESCRIPTION VALUE				
I. ROCK MASS CHARACTERIZATION												
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL						DRILL CORE QUALITY R.Q.D.						
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality	90-100%								
Very High:	Over 250	>10	Good quality	75-90%								
High:	100-250	4-10	Fair quality	50-75%								
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality	25-50%								
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality	<25%								
Low:	5-25	<1										
Very Low:	1-5											
Extremely Low:	<1											
σ _{uc} (MPa) = RMR		R.Q.D. (%) =		Jv =								
		13		31								
DIP AND DIP DIRECTION												
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)	ROUGHNESS (AND TRACK) Sloped, Undulating or Planar						
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE								
Set 1	41° - 43°	42°	56° - 72°	64°	Estratificación							
Set 2	39° - 47°	43°	181° - 183°	182°	Fracturamiento Principal							
Set 3	36° - 44°	40°	13° - 42°	28°	Fracturamiento Secundario							
Set 4												
SPACING OF DISCONTINUITIES												
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	INFILLING (GOUGE)						
Very Wide:	> 2000											
Wide:	600 - 2000					WALL ROCK OF DISCONTINUITIES						
Moderate:	200 - 600	X										
Close:	60 - 200		X	X		IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS						
Very close:	20 - 60											
Extremely close:	< 20					OUTCROP DESCRIPTION						
GROUNDWATER		General Conditions										Photography
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)											
None	0	Completely dry				Afloramiento se encuentra cerca a la cresta del flanco derecho de la Presa Fraylones, mirando hacia la Oda. Fraylones. La roca es Arenisca Cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.						
< 10	< 0.1	Damp										
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet										
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping										
> 125	> 0.5	Flowing										
SCHMIDT HAMMER TEST												
Hammer rebound				Inclination to the horizontal:								
B1	B6	Unit weight intact rock (kN/m³):										
B2	B7	Hammer rebound average:										
B3	B8	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)										
B4	B9											
B5	B10											

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 07		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II - GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION					
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817816 N: 9123009		Set 1 Set 2 Set 3 Set 4				Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)					
Conducted by: F. Cruzado		Date: 27-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER DESCRIPTION VALUE					
I. - ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m				Strength or intact rock Estimado con el martillo de Geólogo 7					
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				R.Q.D. Estimado por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso 13					
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				Spacing of discontinuities Desde menor de 200mm hasta 600mm 10					
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality 90-100%	High: 10 - 20m				Discontinuity conditions					
Very High:	Over 250	>10	Good quality 75-90%	Very High: > 20m				Persistence Mayor de 20m					
High:	100-250	4-10	Fair quality 50-75%	Very tight < 0.1mm				Separation 0.5mm a 2.5mm					
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality 25-50%	Tight 0.1 - 0.25 mm				Roughness Rugosa					
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality <25%	Partly open 0.25 - 0.5 mm				Infilling Oxido					
Low:	5-25	<1	R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 16	Open 0.5 - 2.5 mm				Weathering Ligeramente Meteorizada					
Very Low:	1-5		R.Q.D. (%) = 62	Moderately wide 2.5 - 10 mm				Groundwater Seco					
Extremely Low:	< 1			Wide 1 - 10 cm				Basic RMR 60					
DIP AND DIP DIRECTION				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				Rating adjustment for discontinuity orientation					
SET	FROM - TO	AVERAGE	DIP DIRECTION FROM - TO	AVERAGE	TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)	Very rough surfaces:P.....P.....P.....				RMR Total Rating Rock mass class and Description Average stand - up time Cohesion of the rock mass kPa Friction angle of the rock mass (°)			
Set 1	39° - 45°	42°	61° - 77°	69°	Estratificación	Rough surfaces:P.....P.....P.....				60 III - Media - - -			
Set 2	69° - 80°	74°	165° - 167°	166°	Fracturamiento Principal	Slightly rough surfaces:P.....P.....P.....				Photography 			
Set 3	52°	52°	250°	250°	Fracturamiento Aleatorio	Smooth surfaces:P.....P.....P.....							
Set 4						Slickensided surfaces:P.....P.....P.....							
SPACING OF DISCONTINUITIES				INFILLING (GOUGE)				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)					
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Type: Thickness (mm)Ox.....Ox.....							
Very Wide:	> 2000					Thickness (mm)Ox.....Ox.....							
Wide:	600 - 2000					Uniaxial compressive strength (MPa)Ox.....Ox.....							
Moderate:	200 - 600	X	X	X		Seepage (None, Evence, Dripping, Flowing)Ox.....Ox.....							
Close:	60 - 200					WALL ROCK OF DISCONTINUITIES							
Very close:	20 - 60					UnweatheredX.....X.....X.....							
Extremely close:	< 20					Slightly weatheredX.....X.....X.....							
GROUNDWATER				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS									
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)	General Conditions		Sin evidencia.									
None	0	Completely dryX.....											
< 10	< 0.1	Damp											
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet											
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping											
> 125	> 0.5	Flowing											
SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION									
Hammer rebound		Inclination to the horizontal:		Aforamiento se encuentra cerca a la cresta del flanco derecho de la Presa Fraylones, mirando hacia la Cda. Fraylones. La roca es Arenisca Cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.									
B1	B6												
B2	B7												
B3	B8												
B4	B9												
B5	B10	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)											

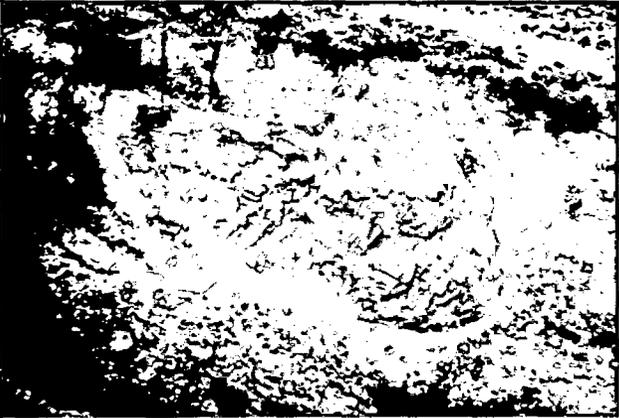
CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project:		La Arena - Fraylones		File N°	EG - 08		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II.- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION		
Site of survey:		Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates:	E: 817753 N: 9123150						Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)		
Conducted by:		F. Cruzado		Date:	27-oct-13						PARAMETER DESCRIPTION VALUE		
I.- ROCK MASS CHARACTERIZATION							PERSISTENCE (CONTINUITY)						
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL							Very low: < 1m						
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.							Low: 1 - 3m						
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality	90-100%			Medium: 3 - 10m						
Very High:	Over 250	>10	Good quality	75-90%			High: 10 - 20m						
High:	100-250	4-10	Fair quality	50-75%			Very High: > 20m						
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality	25-50%									
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality	<25%									
Low:	5-25	<1											
Very Low:	1-5												
Extremely Low:	< 1												
σ _{uc} (MPa) = RMR							R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 15						
							R.Q.D. (%) = 68						
DIP AND DIP DIRECTION							SEPARATION (APERTURE)						
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very light < 0.1mm						
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)		Tight 0.1 - 0.25 mm						
Set 1	36° - 40°	38°	62° - 66°	64°	Estratificación		Partly open 0.25 - 0.5 mm						
Set 2	61° - 63°	62°	170° - 180°	175°	Fracturamiento Principal		Open 0.5 - 2.5 mm						
Set 3	70° - 76°	73°	284° - 292°	288°	Fracturamiento Secundario		Moderately wide 2.5 - 10 mm						
Set 4							Wide 1 - 10 cm						
							Very wide 10 - 100 cm						
							Extremely wide > 100 cm						
SPACING OF DISCONTINUITIES							ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)						
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4		Very rough surfaces:						
Very Wide:	> 2000						Rough surfaces:						
Wide:	600 - 2000						Slightly rough surfaces:						
Moderate:	200 - 600	X		X			Smooth surfaces:						
Close:	60 - 200		X	X			Slickensided surfaces:						
Very close:	20 - 60												
Extremely close	< 20												
GROUNDWATER							INFILLING (GOUGE)						
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)		General Conditions				Type:						
None	0		Completely dry				Thickness (mm)						
< 10	< 0.1		Damp				Uniaxial compressive strength, (MPa)						
10 - 25	0.1 - 0.2		Wet				Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)						
25 - 125	0.2 - 0.5		Dripping				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)						
> 125	> 0.5		Flowing				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES						
							Unweathered						
							Slightly weathered						
							Moderately weathered						
							Highly weathered						
							Completely weathered						
							Residual soil						
SCHMIDT HAMMER TEST							IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS						
Hammer rebound			Inclination to the horizontal:				3 Sistemas: Estratificación + 2 sistemas de fracturamiento.						
B1	B6		Unit weight intact rock (kN/m³):										
B2	B7		Hammer rebound average:										
B3	B8		Uniaxial compressive strength estimated (MPa)										
B4	B9												
B5	B10												
							OUTCROP DESCRIPTION						
							Aforramiento se encuentra cerca a la cresta del flanco derecho de la Presa Fraylones, mirando hacia la Oda. Fraylones. La roca es Arenisca Cuarzosa de grano medio, gris, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.						
											<p>Photography</p> 		

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project:		La Arena - Fraylones		File N°:	EG - 09		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II - GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION												
Site of survey:		Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates:	E: 817697 N: 9123271		Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)				PARAMETER												
Conducted by:		F. Cruzado		Date:	30-oct-13		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	DESCRIPTION	VALUE											
I - ROCK MASS CHARACTERIZATION							PERSISTENCE (CONTINUITY)																
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL							Very low: < 1m																
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.							Low: 1 - 3m																
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality	90-100%	Good quality	75-90%	Mediam :	3 - 10m	High:	10 - 20m	Very High:	> 20m											
Very High:	Over 250	>10	Fair quality	50-75%	Poor quality	25-50%	Very poor quality	< 25%															
High:	100-250	4-10																					
Medium High:	50-100	0-4																					
Moderate:	25-50	1-2																					
Low:	5-25	<1																					
Very Low:	1-5																						
Extremely Low:	< 1																						
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv			Jv =		14																		
σ _{uc} (MPa) = IMR			R.Q.D. (%) =		69																		
DIP AND DIP DIRECTION							SEPARATION (APERTURE)																
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very tight < 0.1mm																
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)		Tight 0.1 - 0.25 mm																
Set 1	64° - 75°	68°	62° - 66°	64°	Estratificación		Partly open 0.25 - 0.5 mm																
Set 2	65° - 71°	68°	155° - 159°	157°	Fracturamiento Principal		Open 0.5 - 2.5 mm																
Set 3	33° - 35°	34°	255° - 265°	260°	Fracturamiento Secundario		Moderately wide 2.5 - 10 mm																
Set 4							Wide 1 - 10 cm																
							Very wide 10 - 100 cm																
							Extremely wide > 100 cm																
SPACING OF DISCONTINUITIES							ROUGHNESS (AND TRACK) Sloped, Undulating or Planar																
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Very rough surfaces:P.....P.....P.....																	
Very Wide:	> 2000					Rough surfaces:P.....P.....P.....																	
Wide:	600 - 2000					Slightly rough surfaces:P.....P.....P.....																	
Moderate:	200 - 600	X		X		Smooth surfaces:P.....P.....P.....																	
Close:	60 - 200		X			Slickensided surfaces:P.....P.....P.....																	
Very close:	20 - 60																						
Extremely close	< 20																						
GROUNDWATER							INFILLING (GOUGE)																
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)	General Conditions				Type:Ox.....Oz.....																	
None	0	Completely dry				Thickness (mm)<1mm.....2mm.....																	
< 10	< 0.1	Damp				Uniaxial compressive strength (MPa)																	
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet				Seepage (None, Eváporación, Dripping, Flowing)																	
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)																	
> 125	> 0.5	Flowing																					
SCHMIDT HAMMER TEST							WALL ROCK OF DISCONTINUITIES																
Hammer rebound			Inclination to the horizontal:				Unweathered																
B1	B6					Slightly weathered																	
B2	B7					Moderately weathered																	
B3	B8					Highly weathered																	
B4	B9					Completely weathered																	
B5	B10					Residual soil																	
IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS							OUTCROP DESCRIPTION																
3 Sistemas: Estratificación + 2 sistemas de fracturamiento.							Aforamiento se encuentra cerca a la cresta del flanco derecho de la Presa Fraylones, muy cerca al eje de cimentación del estribo derecho. La roca es Arenisca Cuarzosa de grano medio, gris, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.																
							<table border="1"> <thead> <tr> <th>RMR Total Rating</th> <th>Rock mass class and Description</th> <th>Average stand - up time</th> <th>Cohesion of the rock mass kPa</th> <th>Friction angle of the rock mass (°)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>III - Media</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				RMR Total Rating	Rock mass class and Description	Average stand - up time	Cohesion of the rock mass kPa	Friction angle of the rock mass (°)	60	III - Media	-	-	-	<p>Photography</p> 		
RMR Total Rating	Rock mass class and Description	Average stand - up time	Cohesion of the rock mass kPa	Friction angle of the rock mass (°)																			
60	III - Media	-	-	-																			

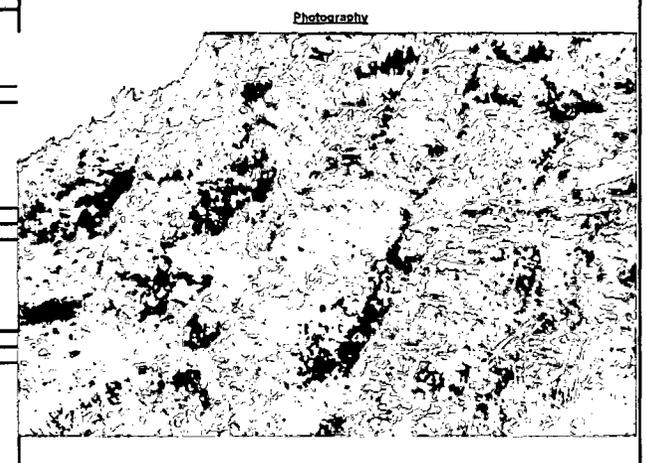
CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG-10		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II. - GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION							
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817912 N: 9123157		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)			
Conducted by: F. Cruzado		Date: 24-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER		DESCRIPTION		VALUE			
I. - ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1mX.....				Strength or intact rock		Estimado con el martillo de Geólogo		1			
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				R.Q.D.		Estimado por el número de discontinuidades por m² del Macizo Rocoso		3			
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				Spacing of discontinuities		Desde menor de 20mm hasta 60mm		5			
Designation		Uniaxial compressive strength (MPa)		Point-load strength index (MPa)		Excellent quality 90-100%		Discontinuities orientation		Persistence		De 1 a 3m			
Very High: Over 250		> 10		Good quality 75-90%		Very rough surfaces:P.....		Separation		0.25mm - 0.5mm		3			
High: 100-250		4-10		Fair quality 50-75%		Slightly rough surfaces:		Roughness		Rugosa		5			
Medium High: 50-100		0-4		Poor quality 25-50%		Smooth surfaces:		Infilling		Óxido, Arena y Limo		2			
Moderate: 25-50		1-2		Very poor quality <25%		Slickensided surfaces:		Weathering		Ligeramente Meteorizada		5			
Low: 5-25		X		R.Q.D. = 115 - 2.3 Jv		Type: Ox, Sa, Sl		Groundwater		Seco		15			
Very Low: 1-5		X		Jv =		Thickness (mm)		Basic RMR		43					
Extremely Low: < 1		X		R.Q.D. (%) = 0		Uniaxial compressive strength (MPa)		Rating adjustment for discontinuity orientation							
cuc (MPa) = RMR						Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)		RMR Total Rating		43		Rock mass class and Description			
DIP AND DIP DIRECTION				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				IN FILLING (GOUGE)		Average stand - Up time		Cohesion of the rock mass MPa		Friction angle of the rock mass (°)	
SET		DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Type: Clean (C), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sl), Clay (Cl), Gneiss (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)		III - Media					
		FROM - TO		FROM - TO		(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES							
Set 1		-		-		-		Unweathered							
Set 2		-		-		-		Slightly weathered							
Set 3		-		-		-		Moderately weathered							
Set 4		-		-		-		Highly weathered							
		-		-		-		Completely weathered							
		-		-		-		Residual soil							
SPACING OF DISCONTINUITIES				Types: Clean (C), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sl), Clay (Cl), Gneiss (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS		Photography					
TERM		SPACING (mm)		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4					
Very Wide:		> 2000													
Wide:		600 - 2000													
Moderate:		200 - 600													
Close:		60 - 200													
Very close:		20 - 60		X											
Extremely close		< 20		X											
GROUNDWATER				General Conditions				OUTCROP DESCRIPTION							
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)		Ratio = (Joint water pressure / Major principal)		Completely dry		X		Aforamiento cerca a la cresta que se alinea al eje de presa, en el faldeo Este, donde hay una escarpa de 2-6m de alto. Debajo de la escarpa hay un cono de escombros que proviene de la poca competencia de la zona de cizalla.							
None		0		Damp											
< 10		< 0.1		Wet											
10 - 25		0.1 - 0.2		Dripping											
25 - 125		0.2 - 0.5		Flowing											
> 125		> 0.5													
SCHMIDT HAMMER TEST				Inclination to the horizontal:											
Hammer rebound		Uniaxial compressive strength estimated (MPa)													
B1		B6													
B2		B7													
B3		B8													
B4		B9													
B5		B10													

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones				File N°: EG - 10				
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones				Coordinates: E: 817806 N: 9123230				
Conducted by: F. Cruzado				Date: 30-oct-13				
I- ROCK MASS CHARACTERIZATION				CONDITION OF DISCONTINUITIES				
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				PERSISTENCE (CONTINUITY)				
Designation		Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength Index (MPa)	Very low: < 1m	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
Very High:		Over 250	>10	Low: 1 - 3mX.....X.....
High:		100-250	4-10	Medium: 3 - 10mX.....
Medium High:		50-100	0-4	High: 10 - 20m
Moderate:		25-50	1-2	Very High: > 20mX.....
Low:		5-25	<1	SEPARATION (APERTURE)				
Very Low:		1-5		Very tight < 0.1mmX.....
Extremely Low:		<1		Tight 0.1 - 0.25 mmX.....X.....
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 20				Partly open 0.25 - 0.5 mm
R.Q.D. (%) = 49				Open 0.5 - 2.5 mm
R.Q.D. (MPa) = DR				Moderately wide 2.5 - 10 mm
				Wide 1 - 10 cm
				Very wide 10 - 100 cm
				Extremely wide > 100 cm
DIP AND DIP DIRECTION				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				
SET	DIP		DIP DIRECTION		Very rough surfaces:P.....O.....O.....P.....			
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	Rough surfaces:P.....O.....O.....P.....			
Set 1	64° - 65°	64°	65° - 75°	69°	Slightly rough surfaces:P.....O.....O.....P.....			
Set 2	43° - 47°	45°	170° - 172°	171°	Smooth surfaces:P.....O.....O.....P.....			
Set 3	80° - 80°	80°	285° - 295°	290°	Slack-sided surfaces:P.....O.....O.....P.....			
Set 4	25° - 29°	27°	333° - 335°	334°	INFILLING (GOUGE)			
				Type: Clean (C), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (S), Clay (Cl), Gravel (Gv), Silt (St), Gypsum (Gy)				
				Thickness (mm)Ox.....Ox.....Ox.....Ox.....				
				Uniaxial compressive strength (MPa)<0.1mm.....<1mm.....<1mm.....<0.1mm.....				
				Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)				
SPACING OF DISCONTINUITIES				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES				
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	UnweatheredX.....X.....X.....X.....		
Very Wide:	> 2000					Slightly weatheredX.....X.....X.....X.....		
Wide:	600 - 2000					Moderately weatheredX.....X.....X.....X.....		
Moderate:	200 - 600	X	X			Highly weatheredX.....X.....X.....X.....		
Close:	60 - 200			X	X	Completely weatheredX.....X.....X.....X.....		
Very close:	20 - 60					Residual soilX.....X.....X.....X.....		
Extremely close:	< 20							
GROUNDWATER				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS				
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal)	General Conditions		4 Sistemas: Estratificación + 3 sistemas de fracturamiento.				
None	0	Completely dryX.....						
< 10	< 0.1	DampX.....						
10 - 25	0.1 - 0.2	WetX.....						
25 - 125	0.2 - 0.5	DrippingX.....						
> 125	> 0.5	FlowingX.....						
SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION				
Hammer rebound		Inclination to the horizontal:		Afloramiento se encuentra en el flanco derecho de la Presa Fraylones, cerca al eje de cimentación del estribo derecho. La roca es Arenisca Cuarzosa de grano medio, gris, poco fracturada, medianamente dura a dura y ligeramente meteorizada.				
B1	B6	Unit weight intact rock (kN/m³):						
B2	B7	Hammer rebound average:						
B3	B8	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)						
B4	B9							
B5	B10							

II- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION		
Rock Mass Rating System - RMR (Blenzlawski, Z. - 1989)		
PARAMETER	DESCRIPTION	VALUE
Strength or intact rock	Estimado con el martillo de Geólogo	6
R.Q.D.	Estimado por el número de discontinuidades por m² del Macizo Rocoso	8
Spacing of discontinuities	Desde menor de 60mm hasta 600mm	9
Discontinuity condition	Persistence	3 - 10m
	Separation	0.5mm a 2.5mm
	Roughness	Ruqosa
	Infilling	Pátina de Óxido
	Weathering	Ligeramente Meteorizada
Groundwater	Seco	15
Basic RMR		58
Rating adjustment for discontinuity orientation		
RMR Total Rating	Rock mass class and Description	Average stand - up time
58	III - Media	-
	Cohesion of the rock mass kPa	Friction angle of the rock mass (°)
	-	-



CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Frayones				File N°: EG - 12				CONDITION OF DISCONTINUITIES				II. GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION			
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Frayones				Coordinates: E: 817955 N: 9122946				Set 1 Set 2 Set 3 Set 4				Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)			
Conducted by: F. Cruzado				Date: 26-oct-13								PARAMETER DESCRIPTION VALUE			
I. ROCK MASS CHARACTERIZATION								PERSISTENCE (CONTINUITY)				II. GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION			
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Very low: < 1m				Strength or intact rock			
Designation Uniaxial compressive strength (MPa) Point-load strength index (MPa)				Excellent quality 90-100% Good quality 75-90% Fair quality 50-75% Poor quality 25-50% Very poor quality <25%				Low: 1 - 3m				Estimado con el martillo de Geólogo 2			
Very High: Over 250 >10				R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 23				Medium: 3 - 10m				R.Q.D.			
High: 100-250 4-10				R.Q.D. (%) = 39				High: 10 - 20m				Estimado por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso 6			
Medium High: 50-100 0-4								Very High: > 20m				Spacing of discontinuities			
Moderate: 25-50 X 1-2								SEPARATION (APERTURE)				Desde menor de 60mm hasta 200mm 8			
Low: 5-25 X <1								Very tight < 0.1mm				Discontinuities conditions			
Very Low: 1-5								Tight 0.1 - 0.25 mm				Persistence Mayor de 20m. 0			
Extremely Low: < 1								Partly open 0.25 - 0.5 mm				Separation 10cm - 100cm. 0			
σ _{uc} (MPa) = RMR								Open 0.5 - 2.5 mm				Roughness Ligeramente Rugosa 3			
								Moderately wide 2.5 - 10 mm				Infilling Oxido <1mm 4			
								Wide 1 - 10 cm				Weathering Moderadamente Meteorizada 3			
								Very wide 10 - 100 cm				Groundwater Seco 15			
								Extremely wide > 100 cm				Basic RMR 41			
DIP AND DIP DIRECTION								ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)							
SET		DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very rough surfaces: P				Rating adjustment for discontinuity orientation			
		FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)		Rough surfaces: P				RMR Total Rating			
Set 1		88° - 70°	78°	310° - 325°	318°	Falla		Slightly rough surfaces: P				Rock mass class and Description			
Set 2		66°	66°	80°	80°	Estratificación		Smooth surfaces: D				Average stand - up time			
Set 3		22°	22°	258°	258°	Fracturamiento Principal		Slickensided surfaces: D				Cohesion of the rock mass kPa			
Set 4								Infilling (Gouge)				Friction angle of the rock mass (°)			
SPACING OF DISCONTINUITIES								Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)							
TERM		SPACING (mm)		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES			
Very Wide:		> 2000				X						Unweathered			
Wide:		600 - 2000						X				Slightly weathered			
Moderate:		200 - 600		X								Moderately weathered			
Close:		60 - 200						X				Highly weathered			
Very close:		20 - 60										Completely weathered			
Extremely close		< 20										Residual soil			
GROUNDWATER								IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS							
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)		Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)		General Conditions				Zona de Cizalla subvertical de 2 m de ancho. A los lados de la zona de cizalla la roca se encuentra intensamente fracturada. Roca Intacta es Arenisca gris (débil a medianamente dura).							
None		0		Completely dry											
< 10		< 0.1		Damp											
10 - 25		0.1 - 0.2		Wet											
25 - 125		0.2 - 0.5		Dripping											
> 125		> 0.5		Flowing											
SCHMIDT HAMMER TEST								OUTCROP DESCRIPTION							
Hammer rebound				Inclination to the horizontal:				Aforamiento se encuentra en la zona externa del flanco derecho de la Presa Frayones, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es Arenisca Cuarzosa, intensamente fracturada, débil a medianamente dura y ligeramente meteorizada a moderadamente meteorizada. Presenta abundante oxidación en las paredes de los sistemas de fracturamiento. Hay zonas de cizalla (alto fracturamiento).							
B1 B6				Unit weight intact rock (kN/m ³):											
B2 B7				Hammer rebound average:											
B3 B8				Uniaxial compressive strength estimated (MPa)											
B4 B9															
B5 B10															



CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 13		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION						
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones		Coordenates: E: 817659 N: 9122991		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)		
Conducted by: F. Cruzado		Date: 30-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER						
L- ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m				Strength or intact rock						
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				Estimated con el martillo de Geólogo						
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				R.Q.D.						
Designation				High: 10 - 20m				Estimated por el número de discontinuidades por m² del Macizo Rocoso						
Uniaxial compressive strength (MPa)				Very High: > 20m				Spacing of discontinuities						
Point-load strength index (MPa)				Very tight < 0.1mm				Peristancia						
Excellent quality 90-100%				Tight 0.1 - 0.25 mm				Separation						
Good quality 75-90%				Partly open 0.25 - 0.5 mm				Roughness						
Fair quality 50-75%				Open 0.5 - 2.5 mm				Infilling						
Poor quality 25-50%				Moderately wide 2.5 - 10 mm				Weathering						
Very poor quality <25%				Wide 1 - 10 cm				Groundwater						
R.Q.D. = 118 - 3.3 Jv Jv =				Very wide 10 - 100 cm				Basic RMR						
Extremely Low: < 1				Extremely wide > 100 cm				Rating adjustment for discontinuity orientation						
R.Q.D. (%) = 0				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				RMR Total Rating						
DIP AND DIP DIRECTION				Very rough surfaces: P				Rock mass class and Description						
SET				Rough surfaces: P				Average stand - up time						
FROM - TO				Slightly rough surfaces: P				Cohesion of the rock mass (kPa)						
AVERAGE				Smooth surfaces:				Friction angle of the rock mass (°)						
FROM - TO				Slickensided surfaces:				45						
AVERAGE				INFILLING (GOUGE)				III - Media						
TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)				Type: Thickness (mm)				Photography						
Set 1: 60° - 61° 61° - 70° 66° Estratificación				Uniaxial compressive strength (MPa)										
Set 2: 52 - 63° 57° 315 - 325° 320° Fracturamiento				Seepage (Holes, Bubbles, Dripping, Flowing)										
Set 3: 50 - 52° 51° 20 - 28° 24° Fracturamiento				Types: Clean (Ch), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Si), Clay (Cl), Gavel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)										
Set 4: 25 - 30° 27° 350 - 357° 353° Fracturamiento				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES										
SPACING OF DISCONTINUITIES				Unweathered										
TERM				Slightly weathered										
SPACING (mm)				Moderately weathered										
Set 1				Highly weathered										
Set 2				Completely weathered										
Set 3				Residual soil										
Set 4														
GROUNDWATER				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS										
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)				Cerca a Zona de Cizalla por eso el intenso fracturamiento. Roca Intacta es Arenisca gris (medianamente dura).										
Ratio = (Joint water pressure / Major principal)														
General Conditions														
None														
< 10														
10 - 25														
25 - 125														
> 125														
SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION										
Hammer rebound				Aforamiento se encuentra en el flanco derecho de la Presa Fraylones, mirando hacia la zona de embalse. La roca es Arenisca Cuarzosa, intensamente fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.										
Inclination to the horizontal:														
Unit weight intact rock (kNm³):														
Hammer rebound average:														
Uniaxial compressive strength estimated (MPa)														

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones				File N°: EG - 14				CONDITION OF DISCONTINUITIES				II.- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION									
Site of survey: Estribo Izquierdo - Presa Principal Fraylones				Coordinates: E: 817539 N: 9123819				Set 1 Set 2 Set 3 Set 4				Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)									
Conducted by: F. Cruzado				Date: 29-oct-13				PERISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER		DESCRIPTION		VALUE					
L- ROCK MASS CHARACTERIZATION								Very low: < 1m				Strength or intact rock		Estimado con el martillo de Geólogo		4					
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Low: 1 - 3m				R.Q.D.		Estimado por el número de discontinuidades por m ² del Macizo Rocoso		13					
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality 90-100%	Good quality 75-90%	Fair quality 50-75%	Poor quality 25-50%	Very poor quality <25%	SEPARATION (APERTURE)				Spacing of discontinuities		200mm - 800mm		10					
Very High:	Over 250	>10						Very tight < 0.1mm				Persistence		Mayor de 20m		0					
High:	100-250	4-10						Tight 0.1 - 0.25 mm				Separation		0.25mm - 0.5mm		3					
Medium High:	50-100	0-4						Partly open 0.25 - 0.5 mm				Roughness		Rugosa		5					
Moderate:	25-50	1-2						Open 0.5 - 2.5 mm				Infilling		Óxido <5mm		4					
Low:	5-25	<1						Moderately wide 2.5 - 10 mm				Weathering		Ligeramente Meteorizada		5					
Very Low:	1-5							Wide 1 - 10 cm				Groundwater		Seco		15					
Extremely Low:	< 1							Very wide 10 - 100 cm				Basic RMR				59					
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 15				R.Q.D. (%) = 66				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				Rating adjustment for discontinuity orientation									
DIP AND DIP DIRECTION				TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)				Very rough surfaces:P.....P.....P.....				RMR Total Rating		Rock mass class and Description		Average stand - up time		Cohesion of the rock mass kPa		Friction angle of the rock mass (°)	
SET	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	Estratificación		Slightly rough surfaces:				59		III - Media		-		-				
Set 1	72° - 74°	73°	39° - 40°	40°	Fracturamiento Principal		Smooth surfaces:														
Set 2	58° - 64°	60°	285° - 299°	292°	Fracturamiento Secundario		Sticksided surfaces:														
Set 3	65° - 77°	71°	153°	153°			INFILLING (GOUGE)				Photography										
Set 4							Type:Ox.....Ox.....														
SPACING OF DISCONTINUITIES				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES				Unweathered													
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Uniaxial compressive strength (MPa)		Slightly weathered													
Very Wide:	> 2000					Seepage (Name, Evidence, Dripping, Flowing)		Moderately weathered													
Wide:	600 - 2000					Types: Clean (C), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)		Highly weathered													
Moderate:	200 - 600	X	X	X		GROUNDWATER		Completely weathered													
Close:	80 - 200					Inflow per 10 m tunnel length (L/min)		Residual soil													
Very close:	20 - 80					Ratio = (Joint water pressure / Major principal)															
Extremely close	< 20					General Conditions															
						NoneX.....															
						< 0.1															
						0.1 - 0.2															
						0.2 - 0.5															
						> 0.5															
SCHMIDT HAMMER TEST				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS				Presenta dos sistemas + estratificación.													
Hammer rebound				Inclination to the horizontal:																	
B1	B6	Unit weight intact rock (kNm ⁻³):																			
B2	B7	Hammer rebound average:																			
B3	B8	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)																			
B4	B9																				
B5	B10																				

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 15		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)					
Site of survey: Estribo Izquierdo - Presa Principal Fraylones		Coordenadas: E: 817378 N: 9123780		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	PARAMETER		DESCRIPTION	VALUE		
Conducted by: F. Cruzado		Date: 29-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				Strength of Intact rock					
I.- ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m				Estimated con el martillo de Geólogo					4
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				R.Q.D.					3
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				Estimated por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso					3
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality 90-100%	High: 10 - 20m				Spacing of discontinuities					5
Very High:	Over 250	>10	Good quality 75-90%	Very High: > 20m				20mm - 60mm					5
High:	100-250	4-10	Fair quality 50-75%	SEPARATION (APERTURE)				Discontinuidades consistentes					0
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality 25-50%	Very tight < 0.1mm				Persistence					0
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality <25%	Tight 0.1 - 0.25 mm				Separation					3
Low:	5-25	<1	R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 31	Partly open 0.25 - 0.5 mm				Roughness					5
Very Low:	1-5		R.Q.D. (%) = 13	Open 0.5 - 2.5 mm				Infilling					4
Extremely Low:	< 1			Moderately wide 2.5 - 10 mm				Weathering					5
σ _{mc} (MPa) = RMR				Wide 1 - 10 cm				Groundwater					15
				Very wide 10 - 100 cm				Seco					44
				Extremely wide > 100 cm				Basic RMR					44
DIP AND DIP DIRECTION				ROUGHNESS AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar				Rating adjustment for discontinuity orientation					
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very rough surfaces:						
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Faltilion, Fault)		Rough surfaces:						
Set 1	48° - 52°	49°	215° - 231°	223°	Fracturamiento Principal		Slightly rough surfaces:						
Set 2	49°	49°	294°	294°	Fracturamiento Secundario		Smooth surfaces:						
Set 3	59° - 80°	70°	150° - 156°	153°	Fracturamiento Aleatorio		Slickensided surfaces:						
Set 4	46°	46°	57°	57°	Estratificación		IN FILLING (GOUGE)						
SPACING OF DISCONTINUITIES				Type:				Thickness (mm)					
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Uniaxial compressive strength (MPa)		Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)					
Very Wide:	> 2000					Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES					
Wide:	600 - 2000					Unweathered		Unweathered					
Moderate:	200 - 600	X				Slightly weathered		Slightly weathered					
Close:	60 - 200	X				Moderately weathered		Moderately weathered					
Very close:	20 - 60		X	X	X	Highly weathered		Highly weathered					
Extremely close:	< 20					Completely weathered		Completely weathered					
GROUNDWATER				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS				Photography					
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)	General Conditions		Presenta dos sistemas + estratificación. Zona de alto fracturamiento. Muy cerca a zona de cizalla.									
None	0	Completely dry											
< 10	< 0.1	Damp											
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet											
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping											
> 125	> 0.5	Flowing											
SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION									
Hammer rebound		Inclination to the horizontal:		Aforamiento expuesto en una cárcava originado por alto fracturamiento de la roca, mirando hacia la quebrada Fraylones. Roca intacta es Arenisca Cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada.									
B1	B6	Unit weight intact rock (kN/m ³):											
B2	B7	Hammer rebound average:											
B3	B8	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)											
B4	B9												
B5	B10												

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Frayones				File N°: EG - 16				CONDITION OF DISCONTINUITIES				II- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION				
Site of survey: Estribo Izquierdo - Presa Principal Frayones				Coordinates: E: 817298 N: 9123649								Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)				
Conducted by: F. Cruzado				Date: 01-nov-13								PARAMETER DESCRIPTION VALUE				
I- ROCK MASS CHARACTERIZATION							PERSISTENCE (CONTINUITY)									
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL							Very low: < 1m									
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.							Low: 1 - 3m									
Designation Uniaxial compressive strength (MPa) Point-load strength index (MPa)							Medium: 3 - 10m									
Very High: Over 250 >10							High: 10 - 20m									
High: 100-250 4-10							Very High: > 20m									
Medium High: 50-100 0-4																
Moderate: 25-50 1-2																
Low: 5-25 <1																
Very Low: 1-5							R.Q.D. = 116 - 3.3 Jv Jv = 24									
Extremely Low: <1							R.Q.D. (%) = 38									
σ _{uc} (MPa) = BMR																
DIP AND DIP DIRECTION							SEPARATION (APERTURE)				Discontinuities orientation					
SET FROM - TO DIP AVERAGE FROM - TO DIP DIRECTION AVERAGE TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)							Very tight < 0.1mm				Persistence De 1 a 10m 3					
Set 1 39° - 40° 39° 60° - 70° 65° Estratificación							Tight 0.1 - 0.25 mm				Separation 0.1mm - 1mm 3					
Set 2 47° - 49° 48° 290 - 297° 294° Fracturamiento							Partly open 0.25 - 0.5 mm				Roughness Ruqosa 3					
Set 3 87° - 89° 88° 180° - 190° 185° Fracturamiento							Open 0.5 - 2.5 mm				Infilling Oxido <5mm 4					
Set 4 50° - 52° 51° 225° - 230° 228° Fracturamiento							Moderately wide 2.5 - 10 mm				Weathering Ligeramente Meteorizada 5					
							Wide 1 - 10 cm				Groundwater Seco 15					
							Very wide 10 - 100 cm				Basic RMR 54					
							Extremely wide > 100 cm				Rating adjustment for discontinuity orientation					
							ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				RMR Total Rating Rock mass class Average stand - up time Cohesion of the rock mass kPa Friction angle of the rock mass (°)					
							Very rough surfaces: P				54 III - Media -					
							Rough surfaces: P				Photography					
							Slightly rough surfaces:									
							Smooth surfaces:									
							Slackened surfaces:									
							INFILLING (GOUGE)									
							Type: Ox, Sa, Si, G, S, Ca, Mg, Fe, Al, K, Na, Cl, SO ₄ , CO ₃ , PO ₄ , OH, F, H ₂ O, Organic									
							Thickness (mm): 0.5mm									
							Uniaxial compressive strength (MPa):									
							Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing):									
							Types: Clean (C), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)									
							WALL ROCK OF DISCONTINUITIES									
							Unweathered X									
							Slightly weathered X									
							Moderately weathered X									
							Highly weathered X									
							Completely weathered									
							Residual soil									
GROUNDWATER							IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS									
Inflow per 10 m tunnel length (L/min) Ratio = (Joint water pressure / Major principal)							Presenta tres sistemas + estratificación. Zona moderadamente fracturada.									
None 0 Completely dry X																
< 10 < 0.1 Damp																
10 - 25 0.1 - 0.2 Wet																
25 - 125 0.2 - 0.5 Dripping																
> 125 > 0.5 Flowing																
SCHMIDT HAMMER TEST							OUTCROP DESCRIPTION									
Hammer rebound							Alofamiento expuesto en el fianco izquierdo mirando hacia la zona de embalse. La roca Intacta es Arenisca Cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada.									
B1 B6							Unk weight intact rock (kNm ²):									
B2 B7							Hammer rebound average:									
B3 B8							Uniaxial compressive strength estimated (MPa)									
B4 B9																
B5 B10																

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Frayones		File N°: EG - 17		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II. GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION								
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Frayones		Coordinates: E: 817500 N: 9123954		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)				
Conducted by: F. Cruzado		Date: 26-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)		SEPARATION (APERTURE)		ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)		INFILLING (GOUGE)		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES		PARAMETER DESCRIPTION VALUE		
I. ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m		Very light < 0.1mm		Very rough surfaces:P.....		Type:Ox.....		UnweatheredX.....		Strength or intact rock Estimado con el martillo de Geólogo 7		
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m		Tight 0.1 - 0.25 mm		Rough surfaces:P.....		Uniaxial compressive strength (MPa)<1mm.....		Slightly weatheredX.....		R.Q.D. Estimado por el número de discontinuidades por m² del Macizo Rocoso 13		
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m		Partly open 0.25 - 0.5 mm		Slightly rough surfaces:P.....		Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)<1mm.....		Moderately weatheredX.....		Spacing of discontinuities Desde menor de 60mm hasta 200mm 8		
Designation		Point-load strength index (MPa)		High: 10 - 20m		Open 0.5 - 2.5 mm		Smooth surfaces:P.....		Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Si), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)		Highly weatheredX.....		Discontinuities conditions Persistence Mayor de 20m. 0		
Very High: Over 250		>10		Very High: > 20m		Moderately wide 2.5 - 10 mm		Slackensided surfaces:P.....		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES		Completely weatheredX.....		Separation 2.5mm - 10mm. 0		
High: 100-250		4-10		R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 13		Wide 1 - 10 cm		INFILLING (GOUGE)		UnweatheredX.....		Roughness Ligeramente Rugosa 3		Infilling Oxido <1mm 4		
Medium High: 50-100		0-4		R.Q.D. (%) = 72		Very wide 10 - 100 cm		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES		Slightly weatheredX.....		Weathering Ligeramente Meteorizada 5		Groundwater Seco 15		
Moderate: 25-50		1-2				Extremely wide > 100 cm		Type:X.....		Moderately weatheredX.....		Basic RMR 55				
Low: 5-25		<1						Thickness (mm)<1mm.....		Highly weatheredX.....		Rating adjustment for discontinuity orientation				
Very Low: 1-5		<1						Uniaxial compressive strength (MPa)<1mm.....		Completely weatheredX.....		RMR Total Rating 55				
Extremely Low: < 1		<1						Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)<1mm.....		Residual soilX.....		Rock mass class and Description III - Media				
DIP AND DIP DIRECTION				DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Si), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)		Average stand - up time				
SET		FROM - TO		AVERAGE		FROM - TO		AVERAGE		WALL ROCK OF DISCONTINUITIES		Cohesion of the rock mass kPa				
Set 1		60° - 61°		60°		75° - 80°		78°		UnweatheredX.....		Friction angle of the rock mass (°)				
Set 2		80° - 82°		81°		165° - 170°		168°		Slightly weatheredX.....						
Set 3		28° - 30°		29°		97° - 99°		98°		Moderately weatheredX.....						
Set 4		47° - 60°		53°		150° - 178°		164°		Highly weatheredX.....						
SPACING OF DISCONTINUITIES				TERM		SPACING (mm)		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		
GROUNDWATER				Inflow per 10 m tunnel length (L/min)		Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)		General Conditions		IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS		OUTCROP DESCRIPTION				
None				0		0		Completely dryX.....		No se observa estructuras brechadas. Hacia el Norte, el afloramiento desaparece abruptamente lo cual indicaría zona de poca competencia comparada con el afloramiento ya que ha sido erosionada.		Afloramiento se encuentra en la zona externa del flanco derecho de la Presa Frayones colindando con la zona de la presa secundaria, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es Arenisca Cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada.				
< 10				< 0.1		< 0.1		Damp								
10 - 25				0.1 - 0.2		0.1 - 0.2		Wet								
25 - 125				0.2 - 0.5		0.2 - 0.5		Dripping								
> 125				> 0.5		> 0.5		Flowing								
SCHMIDT HAMMER TEST				Hammer rebound		Inclination to the horizontal:		Unit weight intact rock (kN/m³):								
B1		B6		B7		Hammer rebound average:		Uniaxial compressive strength estimated (MPa)								
B2		B7		B8												
B3		B8		B9												
B4		B9		B10												
B5		B10														



CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N° EG - 19		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION					
Site of survey: Estribo Izquierdo - Presa Principal Fraylones		Coordinates: E: 817192 N: 9123844		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)					
Conducted by: F. Cruzado		Date: 29-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER	DESCRIPTION	VALUE			
I- ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m				Strength or intact rock					
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m				Estimated con el martillo de Geólogo				4	
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m				R.Q.D.				13	
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality 90-100%	High: 10 - 20m				Estimado por el número de discontinuidades por m ² del Macizo Rocoso				5	
Very High:	Over 250	>10	Good quality 75-90%	Very High: > 20m				Spacing of discontinuities				20mm - 60mm	5
High:	100-250	4-10	Fair quality 50-75%	SEPARATION (APERTURE)				Persistence				Mayor de 20m.	0
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality 25-50%	Very light < 0.1mm				Separation				1mm - 5mm	1
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality <25%	Tight 0.1 - 0.25 mm				Roughness				Ligeramente Rugosa	3
Low:	5-25	<1		Partly open 0.25 - 0.5 mm				Infilling				Oxido <5mm	4
Very Low:	1-5			Open 0.5 - 2.5 mm				Weathering				Ligeramente Meteorizada	5
Extremely Low:	<1			Moderately wide 2.5 - 10 mm				Groundwater				Seco	15
σ _{uc} (MPa) = IMR			R.Q.D. (%) = 62	Wide 1 - 10 cm				Basic RMR				50	
				Very wide 10 - 100 cm				Rating adjustment for discontinuity orientation					
				Extremely wide > 100 cm				RMR Total Rating				50	
DIP AND DIP DIRECTION				ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)				Rock mass class and Description				III - Media	
SET	FROM - TO	AVERAGE	DIP DIRECTION FROM - TO	AVERAGE	TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)	Very rough surfaces:P.....				Average stand - up time	-		
Set 1	46°	46°	48°	48°	Estratificación	Rough surfaces:P.....				Cohesion of the rock mass kPa	-		
Set 2	80°	80°	123° - 126°	125°	Fracturamiento Principal	Slightly rough surfaces:P.....				Friction angle of the rock mass (°)	-		
Set 3	42°	42°	220°	220°	Fracturamiento Secundario	Smooth surfaces:				Photography			
Set 4						Slickensided surfaces:							
SPACING OF DISCONTINUITIES				INFILLING (GOUGE)				Type:Ox.....					
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Thickness (mm)Ox.....							
Very Wide:	> 2000					Uniaxial compressive strength (MPa)							
Wide:	600 - 2000					Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)							
Moderate:	200 - 600	X	X	X		Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Si), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)							
Moderate:	200 - 600					WALL ROCK OF DISCONTINUITIES							
Close:	60 - 200					Unweathered							
Very close:	20 - 60					Slightly weatheredX.....							
Extremely close	< 20					Moderately weatheredX.....							
GROUNDWATER				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS				Presenta dos sistemas + estratificación.					
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)	General Conditions				OUTCROP DESCRIPTION							
None	0	Completely dryX.....				Aforamiento expuesto cerca a la cresta, mirando hacia la quebrada Fraylones. Roca intacta es Arenisca Cuarzosa, gris claro, de grano medio, medianamente dura, ligeramente meteorizada.							
< 10	< 0.1	Damp											
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet											
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping											
> 125	> 0.5	Flowing											
SCHMIDT HAMMER TEST													
Hammer rebound				Inclination to the horizontal:									
B1	B6	Unit weight intact rock (kN/m ³):											
B2	B7	Hammer rebound average:											
B3	B8	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)											
B4	B9												
B5	B10												

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project:		La Arena - Fraylones		File N°:	EG - 20		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II.- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION					
Site of survey:		Estribo izquierdo - Presa Principal Fraylones		Coordinates:		E: 817348 N: 9124247						Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)				
Conducted by:		F. Cruzado		Date:		29-oct-13						PARAMETER DESCRIPTION VALUE				
I.- ROCK MASS CHARACTERIZATION							PERSISTENCE (CONTINUITY)									
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL							Very low: < 1m									
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.							Low: 1 - 3m									
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality	90-100%			Medium: 3 - 10m									
Very High:	Over 250	>10	Good quality	75-90%			High: 10 - 20m									
High:	100-250	4-10	Fair quality	50-75%			Very High: > 20m									
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality	25-50%												
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality	<25%												
Low:	5-25	<1														
Very Low:	1-5															
Extremely Low:	<1															
true (MPa) = IMR			R.Q.D. (%) =		16											
DIP AND DIP DIRECTION							SEPARATION (APERTURE)									
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very tight < 0.1mm									
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)		Tight 0.1 - 0.25 mm									
Set 1	63° - 84°	64°	148° - 171°	160°	Fracturamiento Principal		Partly open 0.25 - 0.5 mm									
Set 2	51° - 62°	57°	236° - 250°	243°	Fracturamiento Secundario		Open 0.5 - 2.5 mm									
Set 3	39° - 48°	44°	88° - 75°	72°	Estratificación		Moderately wide 2.5 - 10 mm									
Set 4							Wide 1 - 10 cm									
							Very wide 10 - 100 cm									
							Extremely wide > 100 cm									
ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)							INFILLING (GOUGE)									
Very rough surfaces:							Type:									
Rough surfaces:							Thickness (mm)									
Slightly rough surfaces:							Uniaxial compressive strength (MPa)									
Smooth surfaces:							Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)									
Slickensided surfaces:							Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sil), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)									
SPACING OF DISCONTINUITIES							WALL ROCK OF DISCONTINUITIES									
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4			Unweathered								
Very Wide:	> 2000							Slightly weathered								
Wide:	600 - 2000							Moderately weathered								
Moderate:	200 - 600		X					Highly weathered								
Close:	60 - 200	X						Completely weathered								
Very close:	20 - 60	X						Residual soil								
Extremely close:	< 20															
GROUNDWATER							IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS									
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)		Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)		General Conditions												
None		0		Completely dry												
< 10		< 0.1		Damp												
10 - 25		0.1 - 0.2		Wet												
25 - 125		0.2 - 0.5		Dripping												
> 125		> 0.5		Flowing												
SCHMIDT HAMMER TEST							OUTCROP DESCRIPTION									
Hammer rebound			Inclination to the horizontal:													
B1	B6	Unit weight intact rock (kN/m³):														
B2	B7	Hammer rebound average:														
B3	B8															
B4	B9	Uniaxial compressive strength estimated (MPa)														
B5	B10															



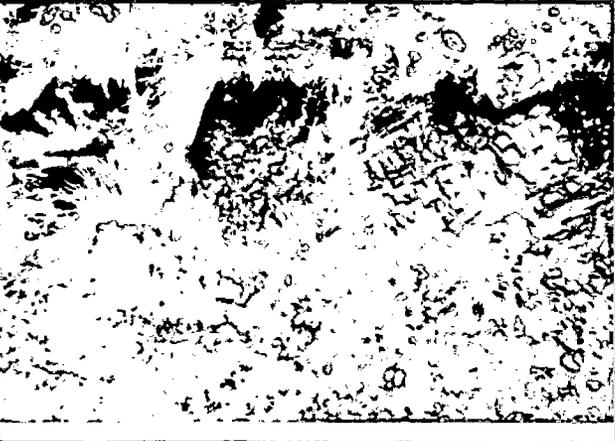
CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones				File N°: EG - 21		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION				
Site of survey: Estribo Derecho - Presa Principal Fraylones				Coordinates: E: 817365 N: 9124083		Set 1 Set 2 Set 3 Set 4				Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)				
Conducted by: F. Cruzado				Date: 26-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER DESCRIPTION VALUE				
I- ROCK MASS CHARACTERIZATION						Very low: < 1m				Strength or intact rock				
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL						Low: 1 - 3m				Estimated con el martillo de Geólogo				
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.						Medium: 3 - 10m				R.Q.D.				
Designation Uniaxial compressive strength (MPa) Point-load strength index (MPa)						High: 10 - 20m				Estimated por el número de discontinuidades por m ³ del Macizo Rocoso				
Very High: Over 250..... >10.....						Very High: > 20m				Spacing of discontinuities				
High: 100-250..... X..... 4-10.....						X.....				Desde menor de 60mm hasta 200mm				
Medium High: 50-100..... X..... 0-4.....						X.....				Discontinuities conditions				
Moderate: 25-50..... X..... 1-2.....						X.....				Persistence Mayor de 20m.				
Low: 5-25..... <1.....						X.....				Separation 2.5mm - 10mm.				
Very Low: 1-5.....						X.....				Roughness Ligeramente Rugosa				
Extremely Low: < 1.....						X.....				Infilling Oxido <1mm				
R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv Jv = 22						X.....				Weathering Ligeramente Meteorizada				
σ _{uc} (MPa) = RMR						R.Q.D. (%) = 42				Groundwater Seco				
DIP AND DIP DIRECTION						Very light < 0.1mm				Basic RMR				
SET FROM - TO AVERAGE DIP DIRECTION FROM - TO AVERAGE TYPE OF DISCONTINUITY (Bedding, Fracture, Foliation, Fault)						Tight 0.1 - 0.25 mm				Rating adjustment for discontinuity orientation				
Set 1 71° - 74° 73° 66° - 69° 68° Estratificación						Partly open 0.25 - 0.5 mm				RMR Total Rating Rock mass class and Description Average stand - up time Cohesion of the rock mass kPa Friction angle of the rock mass (°)				
Set 2 25° - 26° 26° 70° 70° Fracturamiento Principal						Open 0.5 - 2.5 mm				48 III - Media				
Set 3 88° - 90° 89° 133° - 135° 134° Fracturamiento Aleatorio						Moderately wide 2.5 - 10 mm								
Set 4						Wide 1 - 10 cm								
SPACING OF DISCONTINUITIES						Very wide 10 - 100 cm								
TERM SPACING (mm) Set 1 Set 2 Set 3 Set 4						Extremely wide > 100 cm								
Very Wide: > 2000						ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)								
Wide: 600 - 2000						Very rough surfaces: P..... P..... P.....								
Moderate: 200 - 600 X						Rough surfaces: P..... P..... P.....								
Close: 60 - 200 X						Slightly rough surfaces: P..... P..... P.....								
Very close: 20 - 60						Smooth surfaces: P..... P..... P.....								
Extremely close < 20						Slickensided surfaces: P..... P..... P.....								
GROUNDWATER						INFILLING (GOUGE)								
Inflow per 10 m tunnel length (L/min) Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress) General Conditions						Type: Ox..... Ox..... Ox.....								
None < 10 0 Completely dry X						Thickness (mm) <1mm... <1mm...								
10 - 25 < 0.1 Damp						Uniaxial compressive strength (MPa)								
25 - 125 0.1 - 0.2 Wet						Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)								
> 125 0.2 - 0.5 Dripping						Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)								
> 125 > 0.5 Flowing						WALL ROCK OF DISCONTINUITIES								
SCHMIDT HAMMER TEST						Unweathered X..... X..... X.....								
Hammer rebound						Slightly weathered X..... X..... X.....								
B1 B6						Moderately weathered X..... X..... X.....								
B2 B7						Highly weathered X..... X..... X.....								
B3 B8						Completely weathered X..... X..... X.....								
B4 B9						Residual soil X..... X..... X.....								
B5 B10						IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS								
Inclination to the horizontal: Unit weight intact rock (kN/m ³):						Se observan zonas brechadas 40 mts hacia el Sur Este. Hacia el Oeste el afloramiento desaparece abruptamente lo cual indicaría zona de poca competencia comparada con el afloramiento ya que ha sido erosionada.								
Hammer rebound average:						OUTCROP DESCRIPTION								
Uniaxial compressive strength estimated (MPa)						Afloramiento se encuentra en la zona externa del flanco derecho de la Presa Fraylones, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es Arenisca Cuarzosa, poco fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada. Presenta poca oxidación en las paredes de los sistemas de fracturamiento.								

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project:		La Arena - Frayones		File N°:	EG - 22		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II.- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION																																																																					
Site of survey:		Estribo Derecho - Presa Principal Frayones		Coordinates:	E: 817233 N: 9124098		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)																																																																					
Conducted by:		F. Cruzado		Date:	27-oct-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)				PARAMETER	DESCRIPTION	VALUE																																																																			
I.- ROCK MASS CHARACTERIZATION							Very low: < 1m				<table border="1"> <tr> <th>PARAMETER</th> <th>DESCRIPTION</th> <th>VALUE</th> </tr> <tr> <td>Strength or intact rock</td> <td>Estimado con el martillo de Geólogo</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>R.Q.D.</td> <td>Estimado por el número de discontinuidades por m' del Macizo Rocoso</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Spacing of discontinuities</td> <td>Desde menor de 20mm</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Discontinuities condition</td> <td>Persistence</td> <td>Mayor de 20m.</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Separation</td> <td>2.5mm - 10mm.</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Roughness</td> <td>Ligeramente Rugosa</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Infilling</td> <td>Oxido <1mm</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Weathering</td> <td>Moderadamente Meteorizada</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Groundwater</td> <td>Goteando</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Basic RMR</td> <td colspan="2"></td> <td>26</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rating adjustment for discontinuity orientation</td> <td colspan="2"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">RMR Total Rating</td> <td colspan="2">Rock mass class and Description</td> <td>Average stand - up time</td> <td>Cohesion of the rock mass kPa</td> <td>Friction angle of the rock mass (°)</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">26</td> <td colspan="2">III - Media</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>					PARAMETER	DESCRIPTION	VALUE	Strength or intact rock	Estimado con el martillo de Geólogo	4	R.Q.D.	Estimado por el número de discontinuidades por m' del Macizo Rocoso	3	Spacing of discontinuities	Desde menor de 20mm	5	Discontinuities condition	Persistence	Mayor de 20m.	0	Separation	2.5mm - 10mm.	0	Roughness	Ligeramente Rugosa	3	Infilling	Oxido <1mm	4	Weathering	Moderadamente Meteorizada	3	Groundwater	Goteando	4	Basic RMR				26	Rating adjustment for discontinuity orientation					RMR Total Rating		Rock mass class and Description		Average stand - up time	Cohesion of the rock mass kPa	Friction angle of the rock mass (°)						26		III - Media									
PARAMETER	DESCRIPTION	VALUE																																																																														
Strength or intact rock	Estimado con el martillo de Geólogo	4																																																																														
R.Q.D.	Estimado por el número de discontinuidades por m' del Macizo Rocoso	3																																																																														
Spacing of discontinuities	Desde menor de 20mm	5																																																																														
Discontinuities condition	Persistence	Mayor de 20m.	0																																																																													
	Separation	2.5mm - 10mm.	0																																																																													
	Roughness	Ligeramente Rugosa	3																																																																													
	Infilling	Oxido <1mm	4																																																																													
	Weathering	Moderadamente Meteorizada	3																																																																													
Groundwater	Goteando	4																																																																														
Basic RMR				26																																																																												
Rating adjustment for discontinuity orientation																																																																																
RMR Total Rating		Rock mass class and Description		Average stand - up time	Cohesion of the rock mass kPa	Friction angle of the rock mass (°)																																																																										
26		III - Media																																																																														
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL							Low: 1 - 3m																																																																									
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.							Medium: 3 - 10m																																																																									
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality	90-100%			High: 10 - 20m																																																																									
Very High:	Over 250	>10	Good quality	75-90%			Very High: > 20m																																																																									
High:	100-250	4-10	Fair quality	50-75%																																																																												
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality	25-50%																																																																												
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality	<25%																																																																												
Low:	5-25	<1			R.Q.D. = 115 - 3.3 Jv		Jv =		35																																																																							
Very Low:	1-5																																																																															
Extremely Low:	< 1																																																																															
σ _{uc} (MPa) = IMR				R.Q.D. (%) =		0.00																																																																										
DIP AND DIP DIRECTION							SEPARATION (APERTURE)																																																																									
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very light < 0.1mm																																																																									
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)	Tight 0.1 - 0.25 mm																																																																										
Set 1	83° - 87°	85°	150° - 152°	151°	Fracturamiento Principal	Partly open 0.25 - 0.5 mm																																																																										
Set 2	32° - 36°	34°	302° - 310°	306°	Fracturamiento Secundario	Open 0.5 - 2.5 mm																																																																										
Set 3	63° - 65°	64°	62° - 70°	66°	Estratificación	Moderately wide 2.5 - 10 mm																																																																										
Set 4	75° - 80°	78°	69° - 70°	70°	Fracturamiento Aleatorio	Wide 1 - 10 cm																																																																										
							Very wide 10 - 100 cm																																																																									
							Extremely wide > 100 cm																																																																									
SPACING OF DISCONTINUITIES							ROUGHNESS (AND TRACK: Stepped, Undulating or Planar)																																																																									
TERM	SPACING (mm)		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Very rough surfaces:																																																																									
Very Wide:	> 2000						Rough surfaces:																																																																									
Wide:	600 - 2000					X	Slightly rough surfaces:																																																																									
Moderate:	200 - 600				X		Smooth surfaces:																																																																									
Close:	60 - 200			X			Slack-sided surfaces:																																																																									
Very close:	20 - 60																																																																															
Extremely close:	< 20		X																																																																													
GROUNDWATER							INFILLING (GOUGE)																																																																									
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal stress)		General Conditions				Type:																																																																									
None	0		Completely dry				Thickness (mm)																																																																									
< 10	< 0.1		Damp				Uniaxial compressive strength (MPa)																																																																									
10 - 25	0.1 - 0.2		Wet				Seepage (None, Evidence, Dripping, Flowing)																																																																									
25 - 125	0.2 - 0.5		Dripping				Types: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Sil (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Silt (St), Gypsum (Gy)																																																																									
> 125	> 0.5		Flowing				WALL ROCK OF DISCONTINUITIES																																																																									
							Unweathered																																																																									
							Slightly weathered																																																																									
							Moderately weathered																																																																									
							Highly weathered																																																																									
							Completely weathered																																																																									
							Residual soil																																																																									
SCHMIDT HAMMER TEST							IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS																																																																									
Hammer rebound			Inclination to the horizontal:				Zona de Cizalla subvertical de 0.4m de ancho. A los lados de la zona de cizalla la roca se encuentra intensamente fracturada. Roca intacta es Arenisca gris (débil a medianamente dura).																																																																									
B1	B6		Unk weight intact rock (kN/m²):				Aforamiento se encuentra en la zona externa del flanco derecho de la Presa Frayones cerca de la cresta, mirando hacia el río Yamobamba. La roca es Arenisca Cuarzosa. Intensamente fracturada, medianamente dura y ligeramente meteorizada a moderadamente meteorizada. Presenta abundante oxidación en las paredes de los sistemas de fracturamiento. Hay zonas de cizalla (alto fracturamiento).																																																																									
B2	B7		Hammer rebound average:																																																																													
B3	B8		Uniaxial compressive strength estimated (MPa)																																																																													
B4	B9																																																																															
B5	B10																																																																															

CHARACTERIZATION AND GEOMECHANIC CLASSIFICATION OF ROCK MASS

Name of project: La Arena - Fraylones		File N°: EG - 24		CONDITION OF DISCONTINUITIES				II.- GEOMECHANIC ROCK MASS CLASSIFICATION Rock Mass Rating System - RMR (Bieniawski, Z. - 1989)														
Site of survey: Estribo Izquierdo - Presa Principal Fraylones		Coordenates: E: 817037 N: 9123856		Set 1		Set 2		Set 3		Set 4			PARAMETER		DESCRIPTION		VALUE					
Conducted by: F. Cruzado		Date: 01-nov-13		PERSISTENCE (CONTINUITY)									Strength or Intact rock		Estimado con el martillo de Geólogo		3					
I.- ROCK MASS CHARACTERIZATION				Very low: < 1m									R.Q.D.		Estimado por el número de discontinuidades por m² del Macizo Rocoso		3					
STRENGTH INTACT ROCK MATERIAL				Low: 1 - 3m									Spacing of discontinuities		60mm - 200mm		8					
DRILL CORE QUALITY R.Q.D.				Medium: 3 - 10m									Discontinuity conditions		Persistence		De 1 - 3m		4			
Designation	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point-load strength index (MPa)	Excellent quality 90-100%	High: 10 - 20m									Separation		0.1mm - 1mm		4					
Very High:	Over 250	>10	Good quality 75-90%	Very High: > 20m									Roughness		Ligeramente Rugosa		3					
High:	100-250	4-10	Fair quality 50-75%										Infilling		Relleno duro <5mm		4					
Medium High:	50-100	0-4	Poor quality 25-50%										Weathering		Moderadamente Meteorizada		5					
Moderate:	25-50	1-2	Very poor quality <25%										Groundwater		Seco		15					
Low:	5-25	<1											Basic RMR				49					
Very Low:	1-5												Rating adjustment for discontinuity orientation									
Extremely Low:	< 1												RMR Total Rating		Rock mass class and Description		Average stand - up time		Cohesion of the rock mass (kPa)		Friction angle of the rock mass (°)	
DIP AND DIP DIRECTION				Roughness (AND TRACK): Stepped, Undulating or Planar									49		III - Media							
SET	DIP		DIP DIRECTION		TYPE OF DISCONTINUITY		Very rough surfaces:									Photography						
	FROM - TO	AVERAGE	FROM - TO	AVERAGE	(Bedding, Fracture, Foliation, Fault)	Rough surfaces:																
Set 1	38° - 38°	37°	50° - 54°	52°	Estratificación	Slightly rough surfaces:																
Set 2	70° - 79°	75°	150° - 160°	155°	Fracturamiento	Smooth surfaces:																
Set 3	45° - 48°	48°	190° - 196°	193°	Fracturamiento	Slickensided surfaces:																
Set 4	83° - 85°	84°	89° - 90°	90°	Fracturamiento	INFILLING (GOUGE)																
SPACING OF DISCONTINUITIES				Type: Clean (Cl), Quartz (Qz), Calcite (Ca), Oxides (Ox), Sand (Sa), Silt (Sl), Clay (Cl), Gravel (Gv), Salt (St), Gypsum (Gy)																		
TERM	SPACING (mm)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	WALL ROCK OF DISCONTINUITIES																
Very Wide:	> 2000					Unweathered																
Wide:	600 - 2000					Slightly weathered																
Moderate:	200 - 600					Moderately weathered																
Close:	60 - 200	X	X	X	X	Highly weathered																
Very close:	20 - 60					Completely weathered																
Extremely close:	< 20					Residual soil																
GROUNDWATER				IN SITU STRESSES/MAJOR FAULTS																		
Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	Ratio = (Joint water pressure / Major principal)	General Conditions		No se aprecian fallas cercanas. Se puede observar una cárcava que coincide con una zona de cizalla por el intenso fracturamiento.																		
None	0	Completely dry																				
< 10	< 0.1	Damp																				
10 - 25	0.1 - 0.2	Wet																				
25 - 125	0.2 - 0.5	Dripping																				
> 125	> 0.5	Flowing																				
SCHMIDT HAMMER TEST				OUTCROP DESCRIPTION																		
Hammer rebound			Inclination to the horizontal:		Afloramiento expuesto a media ladera del flanco izquierdo en un corte de carretera, mirando hacia la quebrada Fraylones. Arenisca Cuarzosa, gris claro, de grano medio, débil a medianamente dura, ligeramente meteorizada.																	
B1	B6			Unit weight intact rock (kNm³):																		
B2	B7			Hammer rebound average:																		
B3	B8			Uniaxial compressive strength estimated (MPa)																		
B4	B9																					
B5	B10																					

ANEXO 02
Registro Geotécnico de Sondajes

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-01

UBICACIÓN		N: 9123594.35		E: 817489.38		Cota: 3304.58		Hoja 1 de 3																				
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia					Compacidad					Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat					
				20	40	60	80	100		MB	B	L	R	MR	D	MS	S	U	D	MD	G	A		F				
1	3305.64	Turba	Pt																									
2	3304.64																									20		
3	3303.64																											
4	3302.64																											
5	3301.64																											
6	3300.64																											
7	3299.64	Grava bien gradada con arcilla y arena	GW-GC						27															57.7	33.3	9.0	1.59 x 10 ⁻⁷	
8	3298.64																							0.9	30.4	68.7		
9	3297.64																											
10	3296.64																											
11	3295.64	Arena arcillosa	SC						2																			
12	3294.64																											
13	3293.64	Grava arcillosa	GC																									
14	3292.64	Arena arcillosa	SC						11															11.1	42.4	46.5		
15	3291.64	Arena bien gradada con limo y grava	SW-SM						32															37.7	53.3	9.0	2.20 x 10 ⁻⁸	
16	3290.64																											
17	3289.64																											
18	3288.64	Arcilla con arena y grava	CL						5															23.1	26.5	50.4		
19	3287.64	Limo orgánico	OL																									
20	3286.64																							5.1	10.3	84.6	5.52 x 10 ⁻⁴	
21	3285.64																											
22	3284.64	Arena arcillosa	SC						32															5	70	25		
23	3283.64																											
24	3282.64																											
25	3281.64																											
26	3280.64																								13.1	44.4	42.5	1.45 x 10 ⁻⁵
27	3279.64	Arena arcillosa con grava	SC						17															0.9	25.8	73.3		
28	3278.64																											
29	3277.64																								16.4	41.2	42.4	
30	3276.64	Arcilla con arena	CL						16															10.2	22.0	67.8	4.16 x 10 ⁻⁴	
31	3275.64																											
32	3274.64																											
33	3273.64																								1.2	35.2	63.6	
34	3272.64																											

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-01

UBICACIÓN		N: 9123594.35		E:817489.38		Cota: 3304.58		Hoja 2 de 3															
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia				Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat		
				20	40	60	80	100		MB	B	L	R	MR	D	MS	S	C	D	MD		G	A
34	3272.64	Arena arcillosa con grava	SC						8											1.1	32.5	66.4	2.57 X 10 ⁻⁴
35	3271.64																						
36	3270.64																						
37	3269.64								50														
38	3268.64								11											18.7	37.4	43.9	
39	3267.64																						
40	3266.64								11											3.1	22.4	74.5	
41	3265.64	Grava arcillosa con arena	GC																			9.96 X 10 ⁻⁵	
42	3264.64																						
43	3263.64																						
44	3262.64																		50	30	20		
45	3261.64																						
46	3260.64																						
47	3259.64																						
48	3258.64	Arcilla con arena y limo	CL																			1.07 X 10 ⁻⁴	
49	3257.64																						
50	3256.64																						
51	3255.64																		5	20	75		
52	3254.64																						
53	3253.64																						
54	3252.64																						
55	3251.64	Grava mal pobremente gradada con arcilla y arena	GP-GC																		3.31 X 10 ⁻⁴		
56	3250.64																						
57	3249.64																	60	20	20			
58	3248.64																						

Contacto Suelo / Roca 58.00m

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-02

UBICACIÓN		N: 9123594.35		E:817489.38		Cota: 3304.58		Hoja 2 de 3																
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia					Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat		
				20	40	60	80	100		MB	B	L	R	MR	D	MS	S	C	D	MD	G		A	F
44	3261.58	Arena arcillosa con grava	SC																				8.11 X 10 ⁻⁵	
45	3260.58																							
46	3259.58	Arena limosa con grava	SM																				2.89 X 10 ⁻⁴	
47	3258.58																							
48	3257.58																							
49	3256.58																							
50	3255.58																							
51	3254.58																							
52	3253.58																							
53	3252.58																							
54	3251.58																							
55	3250.58																							
56	3249.58																							
57	3248.58																							
58	3247.58																							
59	3246.58																							
60	3245.58																							
61	3244.58																							
62	3243.58	Grava arcillosa con arena	GC																				2.87 X 10 ⁻⁴	
63	3242.58																							
64	3241.58																							
65	3240.58	Arena limosa con grava	SM																				3.30 X 10 ⁻⁴	
66	3239.58																							
67	3238.58																							
68	3237.58																							
69	3236.58																							
70	3235.58																							
71	3234.58																							
72	3233.58																							
73	3232.58																							
74	3231.58																							
75	3230.58																							
76	3229.58																							
77	3228.58																							
78	3227.58	Grava arcillosa y limosa	GC-GM																				2.79 X 10 ⁻⁴	
79	3226.58																							
80	3225.58																							
81	3224.58																							
81.5	3224.08																					2.27 X 10 ⁻⁴		

Contacto Suelo Roca 81.50m

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-03																							
UBICACIÓN		N: 9123694.21				E:817435.25				Cota: 3317.71				Hoja 1 de 2									
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación				SPT N60	Consistencia				Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat			
				20	40	60	80		100	MB	B	L	R	MR	D	MS	S	G	D		MD	G	A
1	3316.71	Grava limosa con arena	GM																				
2	3315.71								15														
3	3314.71								13														
4	3313.71								17														
5	3312.71								22											50	30	20	2.19×10^{-2}
6	3311.71																						
7	3310.71																						
8	3309.71																						
9	3308.71								11														
10	3307.71																						
11	3306.71								50														
12	3305.71								50														
13	3304.71								50														
14	3303.71								50														5.20×10^{-5}

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-05

UBICACIÓN		N: 9123332.61		E:817230.22					Cota: 3309.31					Hoja 1 de 3							
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia					Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat			
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5		MB	BL	LC	MR	MD	MS	SO	SD		MD	G	A
1	3308.31	Turba	Pt																		
2	3307.31																				20
3	3306.31	Arcilla limosa con arena	CL-ML						2												
4	3305.31																				
5	3304.31																				
6	3303.31																				5 35 65
7	3302.31									7											
8	3301.31									6											
9	3300.31																				
10	3299.31	Arcilla con arena	CL						3												
11	3298.31	Arena limo arcillosa	SC-SM																		
12	3297.31																				
13	3296.31									4											
14	3295.31									2											
15	3294.31																				3.28 x 10 ⁻⁶
16	3293.31	Arcilla con arena	CL						10												
17	3292.31									10											
18	3291.31																				
19	3290.31	Arena arcillosa	SC						7												
20	3289.31																				
21	3288.31																				2.45 x 10 ⁻⁶
22	3287.31									10											
23	3286.31									12											
24	3285.31																				
25	3284.31	Grava arcillosa con arena	GC						11												
26	3283.31																				40 35 25
27	3282.31							19													
28	3281.31	Arena arcillosa	SC						14												
29	3280.31									9											5.22 x 10 ⁻⁵
30	3279.31																				
31	3278.31	Arena limo arcillosa	SC-SM						9												
32	3277.31																				
33	3276.31																				
34	3275.31																				
35	3274.31									30											
36	3273.31									50											1.20 x 10 ⁻⁴
37	3272.31									50											
38	3271.31																				
39	3270.31									16											
40	3269.31																				
41	3268.31							22													
42	3267.31																		5 50 45		
43	3266.31																		5.32 x 10 ⁻⁵		

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-05

UBICACIÓN		N: 9123332.61		E:817230.22				Cota: 3309.31				Hoja 2 de 3										
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación				SPT N60	Consistencia				Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat		
				20	40	60	80		100	MB	B	L	R	MR	D	MS	S	C	D		MD	G
43	3266.31	Arena limo arcillosa	SC-SM																			6.27 x 10 ⁻⁴
44	3265.31																					
45	3264.31																					
46	3263.31																					
47	3262.31																					
48	3261.31																					
49	3260.31																					
50	3259.31																					
51	3258.31	Arena limosa con grava	SM																20	50	30	1.37 x 10 ⁻⁴
52	3257.31																					
53	3256.31																					
54	3255.31																					
55	3254.31																					
56	3253.31																					
57	3252.31																					
58	3251.31																					
59	3250.31	Arcilla limosa con arena	CL-ML																		2.95 x 10 ⁻⁵	
60	3249.31																					
61	3248.31																					
62	3247.31																					

Contacto Suelo / Roca 62.00 m

REGISTRO DE PERFORACION: SG-PF-07B

N: 9123431.98

E:817581.77

Cota: 3307.59

Hoja 1 de 2

UBICACIÓN		Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia					Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat	
Prof.	m.s.n.m.			20	40	60	80	100		MB	B	UL	α	MR	D	MS	S	C	D	MD	G		A
1	3308	Turba	Pt						1														3.56E-04
2	3307								1													20	
3	3306								1														
4	3305	Arena arcillosa con grava	SC						28													6.44E-07	
5	3304								27									20	50	30			
6	3303								4														
7	3302								1														
8	3301								15														
9	3300	Arcilla y limo arenoso	CL-ML						4												6.44E-07		
10	3299								1								5	30	65				
11	3298								2														
12	3297	Limo Organico	OL						15												5.66E-05		
13	3296								5								0	20	80				
14	3295	Grava arcillosa con arena	GC						22												7.68E-06		
15	3294								3								50	30	20				
16	3293								4														
17	3292								30								8.5	38.3	53.2				
18	3291	Arena limosa	SM						4								28.6	66.3	5.1	6.33E-05			
19	3290								30								8.5	38.3	53.2				
20	3289	Arena arcillosa limosa con grava	SC-SM						4												1.88E-04		
21	3288						6								1.4	27.2	71.4						
22	3287	Limo y arcilla con arena	CL-ML						21								17.6	34.7	47.7				
23	3286	Limo orgánico con arena	OL						43								18.1	46.8	35.1				
24	3285	Arena limosa con grava	SM						9								23.2	30.6	46.2	6.33E-05			
25	3284								46								5.8	70.6	23.6				
26	3283								15								0.5	31.0	68.5				
27	3282								23								28.3	46.1	25.6				
28	3281	Limo arenoso	ML						15												1.88E-04		
29	3280								17								19.1	70.2	10.7				
30	3279								17														
31	3278	Arena limosa con grava	SM						15												1.88E-04		
32	3277								17														
33	3276						17																
34	3275						17																

Contacto Suelo / Roca 34.00m

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-08

UBICACIÓN		N: 9123636.79		E: 817799.1		Cota: 3306.43		Hoja 1 de 4													
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación				SPT N60	Consistencia				Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat	
				20	40	60	80		100	MB	BD	LD	MR	MS	SD	MD	G	A	F		
1	3305.43	Turba	Pt																		
2	3304.43																				20
3	3303.43																				
4	3302.43																				
5	3301.43																				
6	3300.43																				
7	3299.43																				
8	3298.43									50											4.02×10^{-4}
9	3297.43																				
10	3296.43																				2.08×10^{-5}
11	3295.43									33											
12	3294.43																				
13	3293.43									28											
14	3292.43									36											6.68×10^{-6}
15	3291.43																				
16	3290.43									50											
17	3289.43			Grava limo arcillosa con arena	GC-GM														50.0	30.0	20.0
18	3288.43																				
19	3287.43									50											
20	3286.43																				1.02×10^{-5}
21	3285.43																				
22	3284.43									50											
23	3283.43																				
24	3282.43																				
25	3281.43									50											1.27×10^{-5}
26	3280.43																				
27	3279.43																				
28	3278.43																				
29	3277.43																				
30	3276.43																		3.15×10^{-6}		
31	3275.43																				
32	3274.43																				
33	3273.43																				
34	3272.43																				
35	3271.43																				
36	3270.43	Arena limo arcillosa	SM-SC																8.63×10^{-7}		
37	3269.43																				
38	3268.43																	5.0	50.0	45.0	
39	3267.43																				
40	3266.43																				
41	3265.43	Grava limosa con arena	GM																9.88×10^{-6}		
42	3264.43																				
43	3263.43																	50	20	30	
44	3262.43																				
45	3261.43																				
46	3260.43																				1.99×10^{-4}

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-08

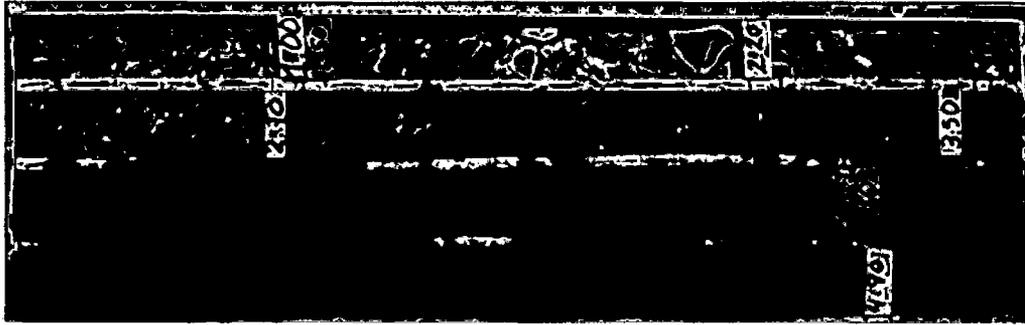
UBICACIÓN		N: 9123636.79		E:817799.1		Cota: 3306.43		Hoja 2 de 4																		
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia					Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat				
				20	40	60	80	100		MB	B	L	R	MR	D	MS	S	O	D	MD	G		A	F		
47	3259.43	Limo orgánico	OL																			0	10	90	2.80×10^{-6}	
48	3258.43																									
49	3257.43																									
50	3256.43																									
51	3255.43	Grava arcillosa con arena	GC																			50	30	20	1.22×10^{-6}	
52	3254.43																									
53	3253.43																									
54	3252.43																									
55	3251.43																									
56	3250.43																									
57	3249.43																									
58	3248.43																									
59	3247.43																									
60	3246.43																									
61	3245.43																									
62	3244.43																									
63	3243.43	Arena arcillosa	SC																		0	60	40	6.58×10^{-5}		
64	3242.43	Grava limosa con arena	GM																							
65	3241.43																									
66	3240.43																									
67	3239.43																									
68	3238.43																									
69	3237.43																									
70	3236.43																									
71	3235.43																									
72	3234.43																									
73	3233.43																									
74	3232.43																									
75	3231.43																		50	20	30	6.06×10^{-4}				

REGISTRO DE PERFORACIÓN: SG-PF-08

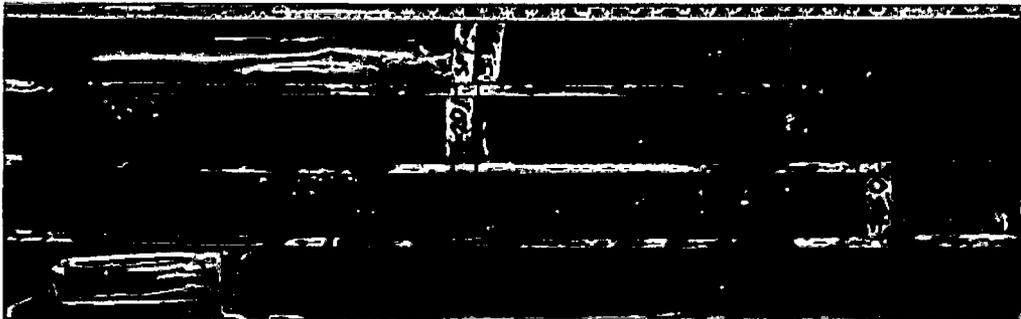
UBICACIÓN		N: 9123636.79		E:817799.1		Cota: 3306.43		Hoja 3 de 4														
Prof.	m.s.n.m.	Litología	SUCS	Recuperación					SPT N60	Consistencia				Compacidad				Gradación			Conduct. Hidraul. Niv. Freat	
				20	40	60	80	100		MB	B	L	R	MR	D	MS	S	C	D	MD		G
76	3230.43	Grava limosa con arena	GM																			6.67 X 10 ⁻⁴
77	3229.43																					
78	3228.43																					
79	3227.43																					
80	3226.43																					
81	3225.43																					
82	3224.43																					
83	3223.43																					
84	3222.43																					
85	3221.43																					
86	3220.43																					
87	3219.43																					
88	3218.43			Arena arcillosa con grava	SC															1U	3U	
89	3217.43																					
90	3216.43																					
91	3215.43	Grava limosa con arena	GM																			6.04 X 10 ⁻⁴
92	3214.43																					
93	3213.43																					
94	3212.43																					
95	3211.43																					
96	3210.43																					
97	3209.43																					
98	3208.43																					
99	3207.43																					
100	3206.43																					
101	3205.43																					
102	3204.43																					
103	3203.43																					
104	3202.43																					
105	3201.43																					
106	3200.43																					
107	3199.43																					
108	3198.43																					
109	3197.43																					
110	3196.43																					
111	3195.43																					

Contacto Suelo / Roca 111.00m

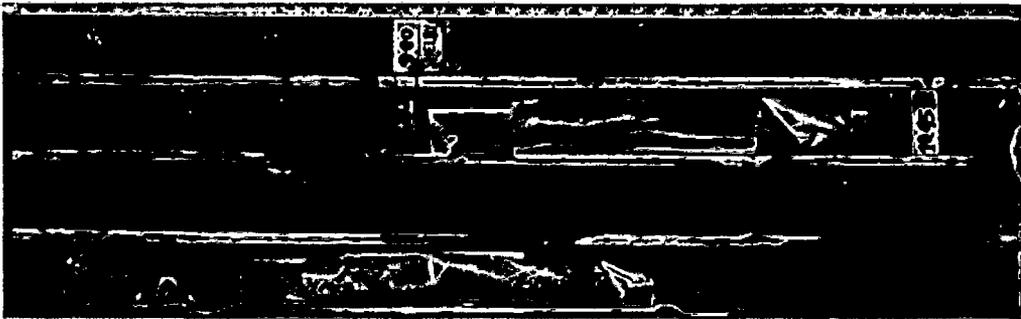
ANEXO 03
Fotos de Testigos de Sondajes



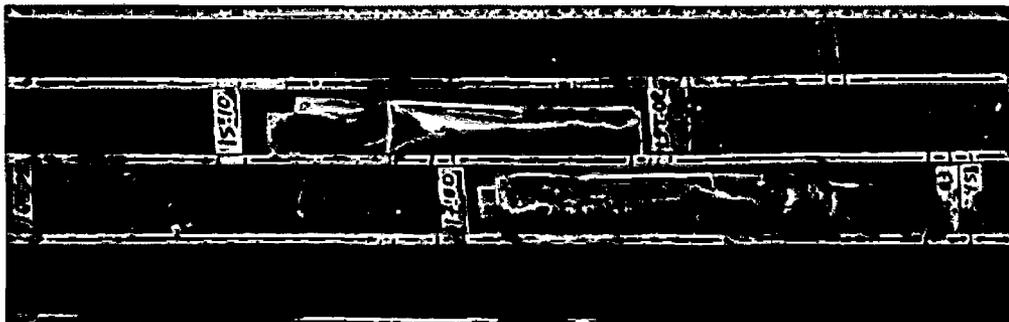
1: SG-PF-01: Profundidad de 0.00 – 4.90 m.



2: SG-PF-01: Profundidad de 4.90 – 8.60 m.



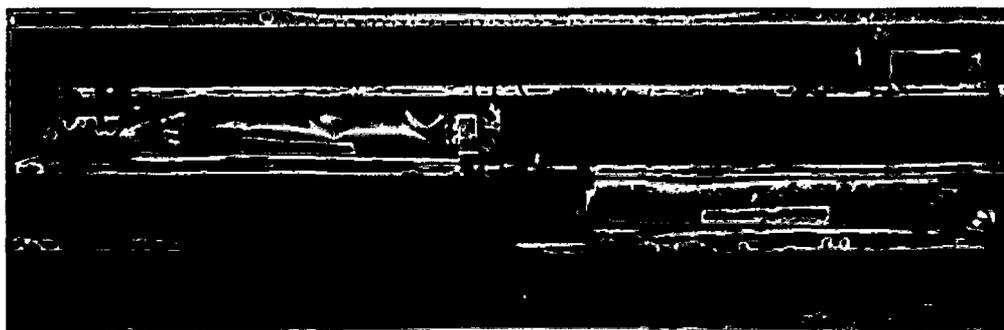
3: SG-PF-01: Profundidad de 8.60 – 13.70 m



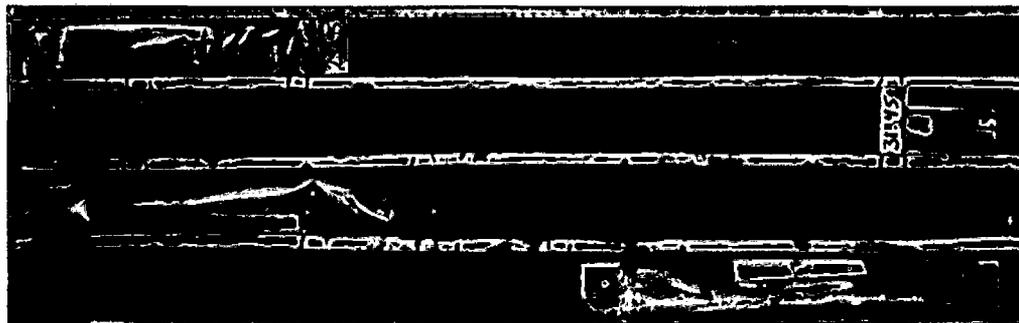
4: SG-PF-01: Profundidad de 13.70 – 18.40 m



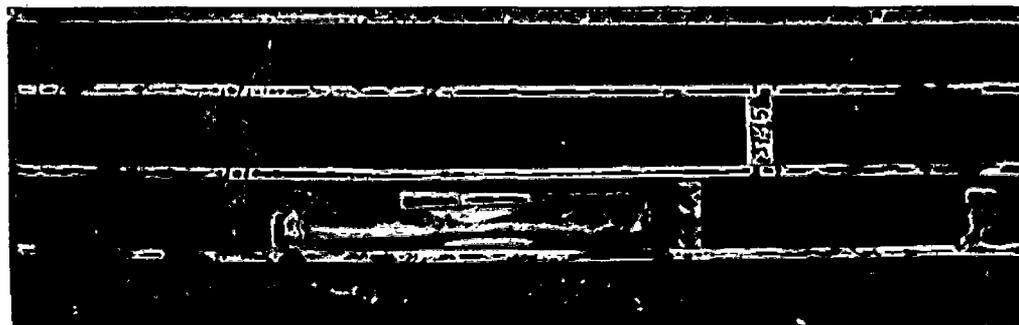
5: SG-PF-01: Profundidad de 18.40 – 25.65 m.



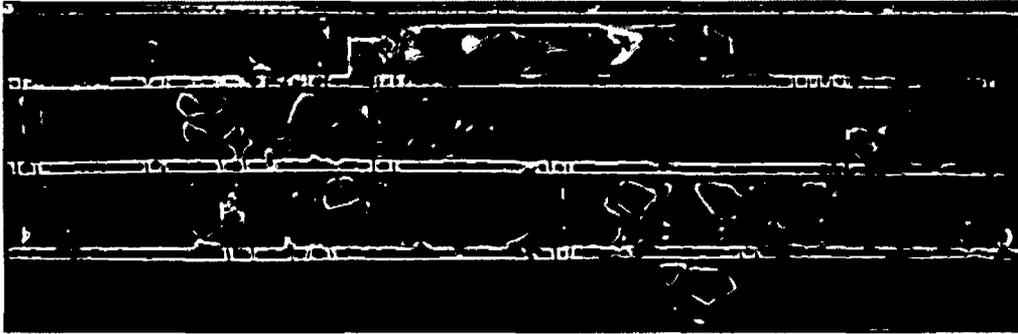
6: SG-PF-01: Profundidad de 25.65 – 29.50 m.



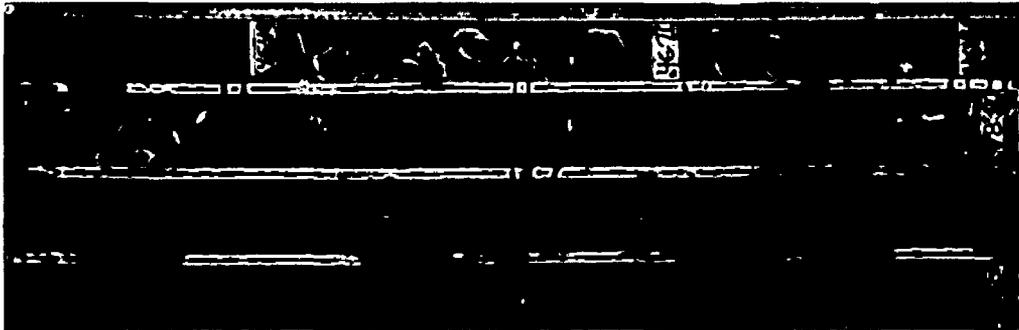
7: SG-PF-01: Profundidad de 29.50 – 33.85 m.



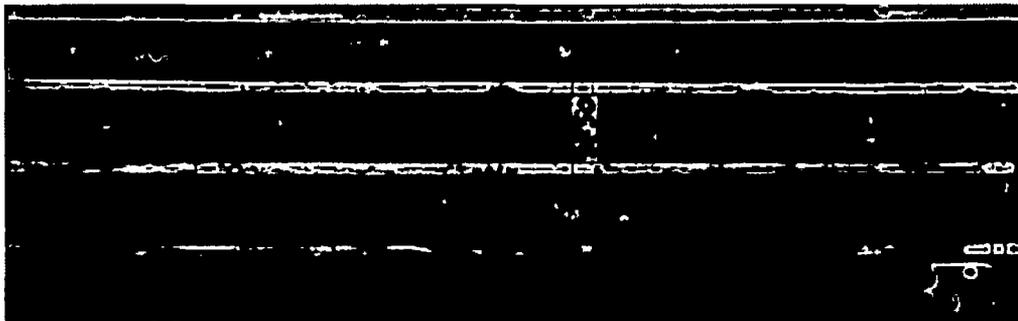
8: SG-PF-01: Profundidad de 33.85 – 39.20 m



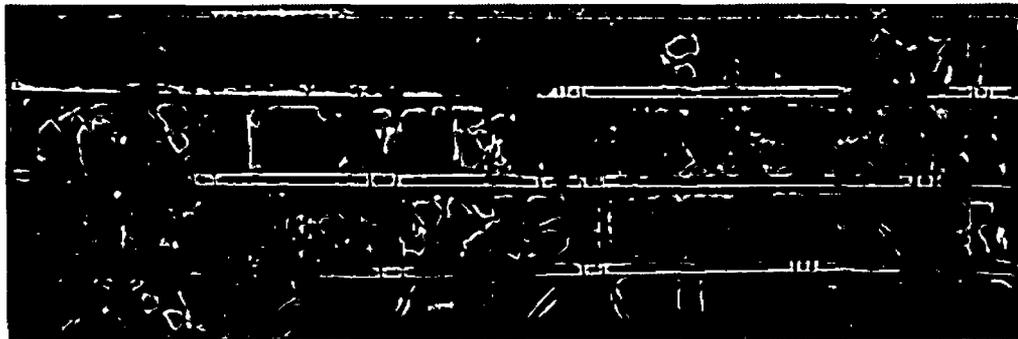
9: SG-PF-01: Profundidad de 39.20 – 45.25 m.



10: SG-PF-01: Profundidad de 45.25 – 50.00 m.



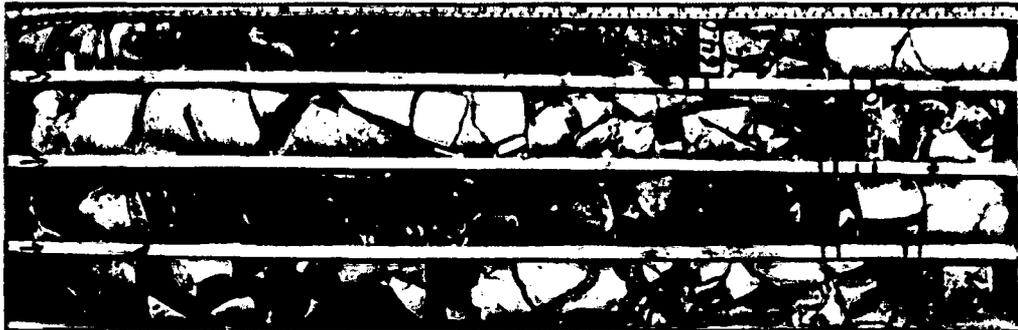
11: SG-PF-01: Profundidad de 50.00 – 53.85 m



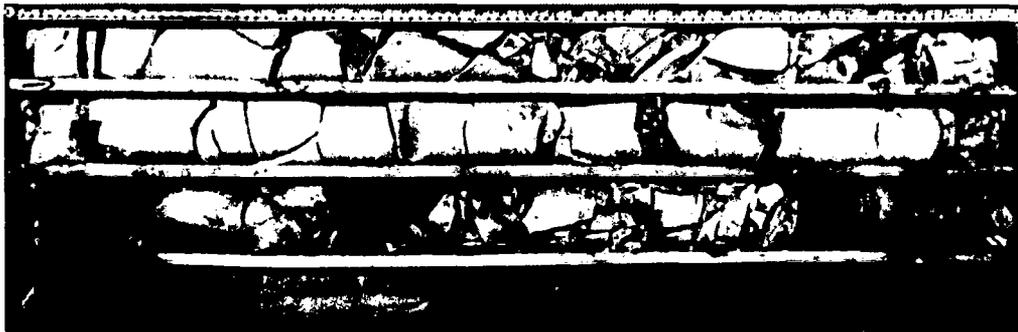
12: SG-PF-01: Profundidad de 53.85 – 58.80 m



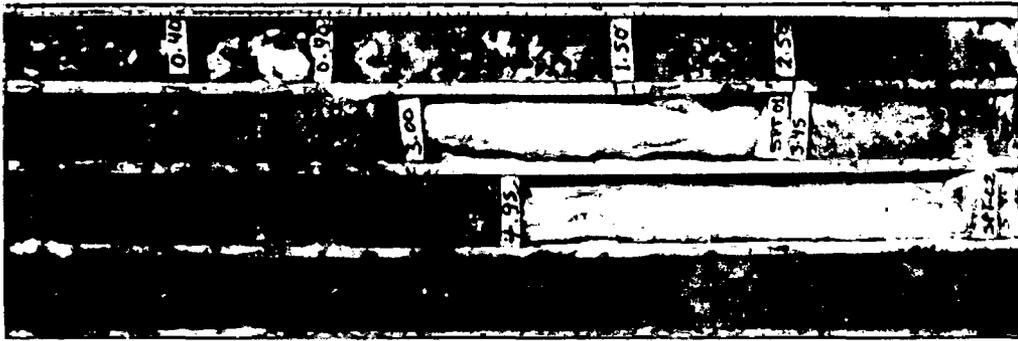
13: SG-PF-01: Profundidad de 58.80 – 63.00 m.



14: SG-PF-01: Profundidad de 63.00 – 67.00 m



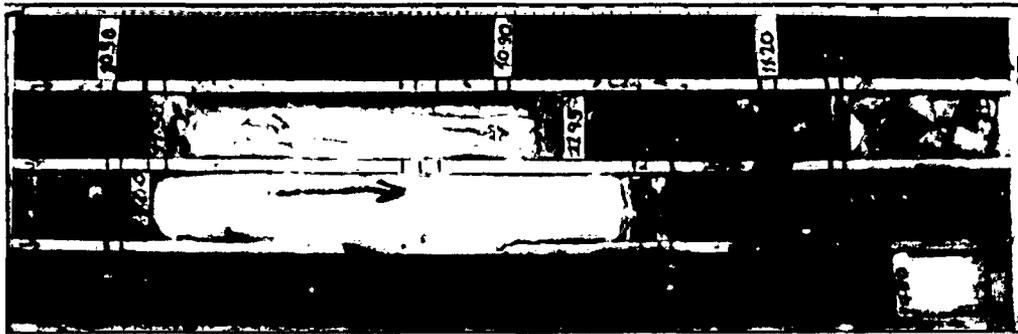
15: SG-PF-01: Profundidad de 67.00 – 70.00 m



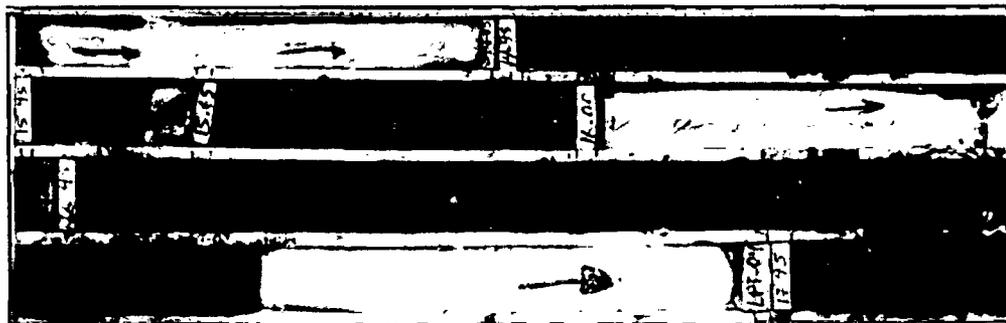
1: SG-PF-02: Profundidad de 0.00 – 6.40 m



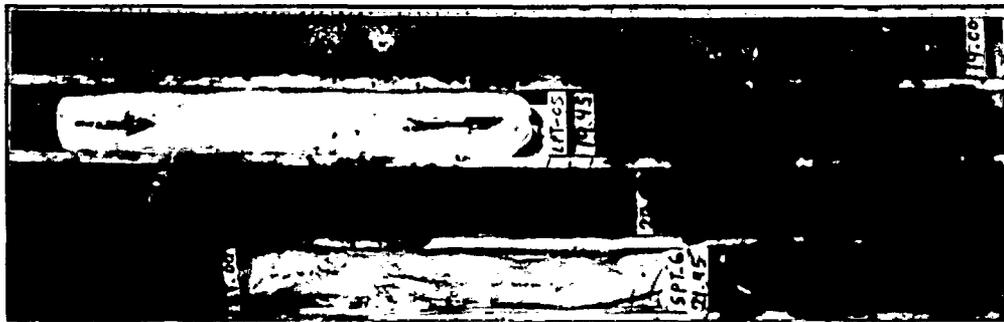
2: SG-PF-02: Profundidad de 6.40 – 10.40 m



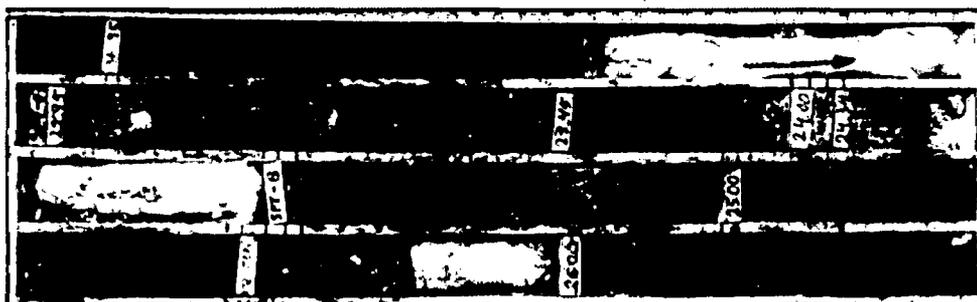
3: SG-PF-02: Profundidad de 10.40 – 14.50 m



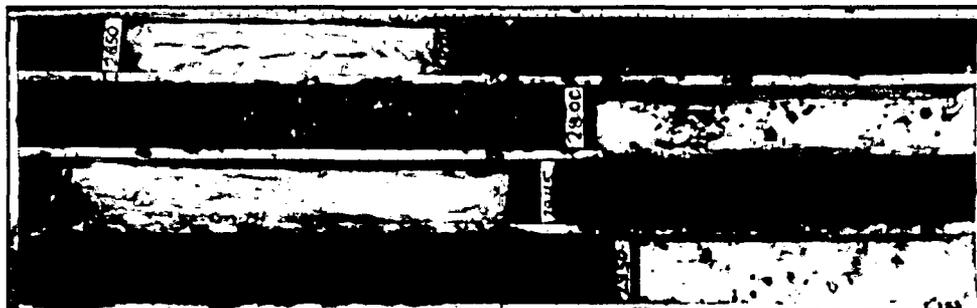
4: SG-PF-02: Profundidad de 14.50 – 18.15 m



5: SG-PF-02: Profundidad de 18.15 – 21.75 m



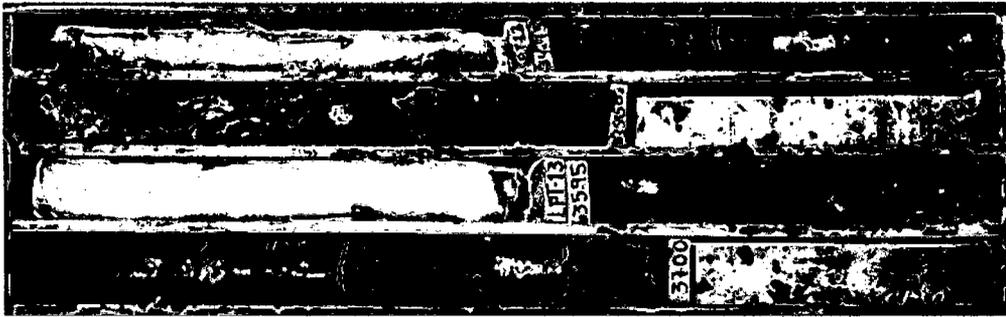
6: SG-PF-02: Profundidad de 21.75 – 26.40 m



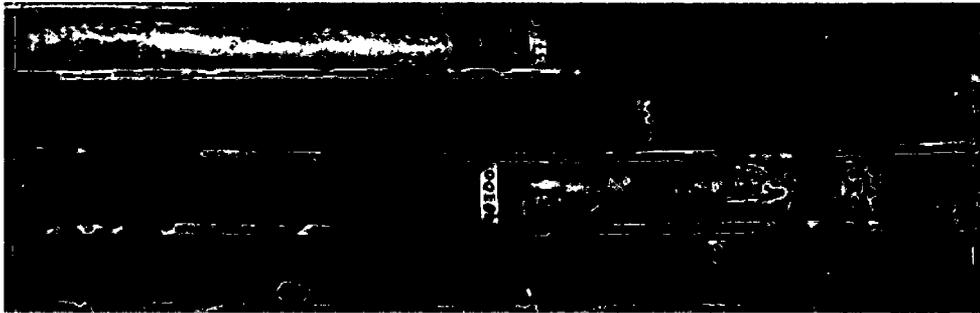
7: SG-PF-02: Profundidad de 26.40 – 29.50 m



8: SG-PF-02: Profundidad de 29.50 – 34.00 m



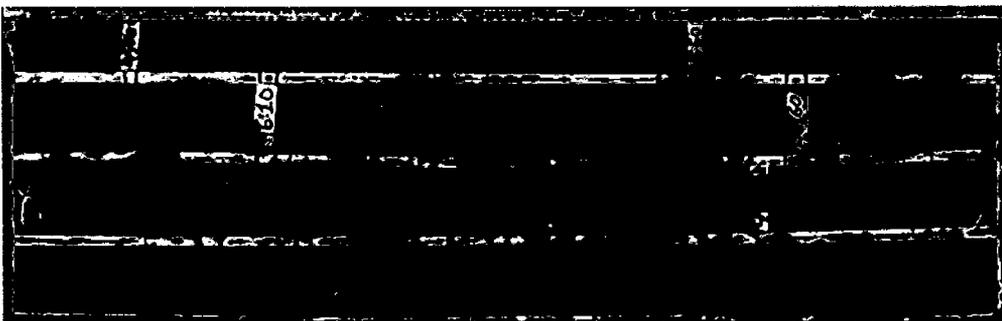
9: SG-PF-02: Profundidad de 34.00 – 37.00 m



10: SG-PF-02: Profundidad de 37.00 – 41.30 m



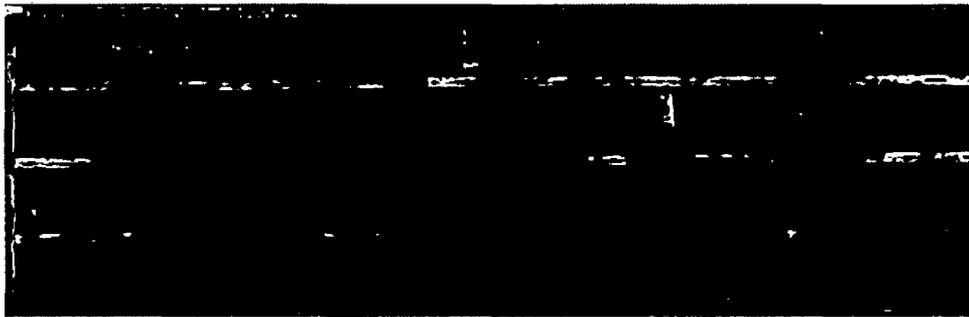
11: SG-PF-02: Profundidad de 41.30 – 44.90 m



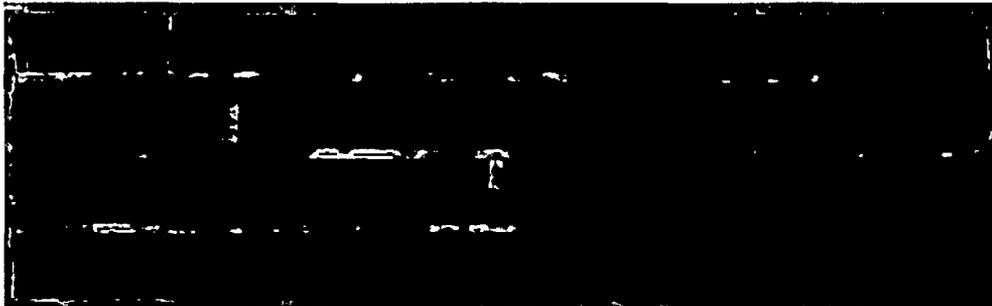
12: SG-PF-02: Profundidad de 44.90 – 48.70 m



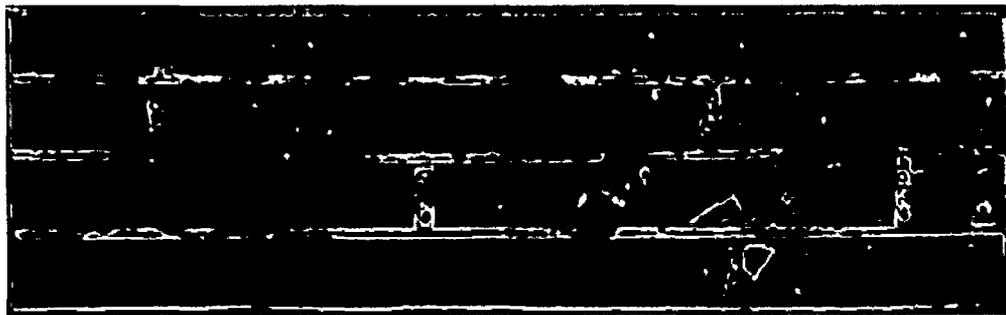
13: SG-PF-02: Profundidad de 48.70 – 52.70 m



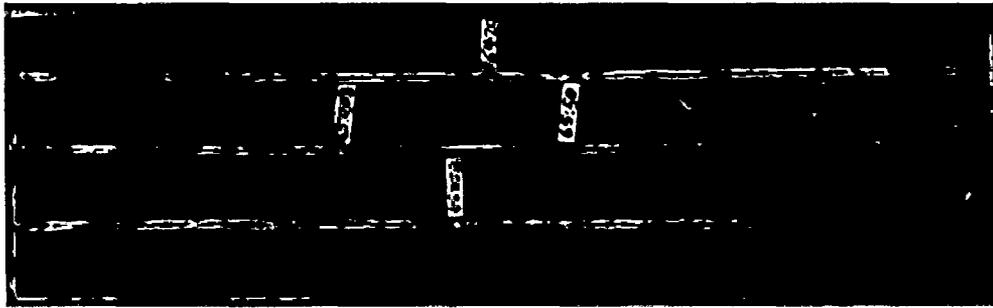
14: SG-PF-02: Profundidad de 52.70 – 56.10 m



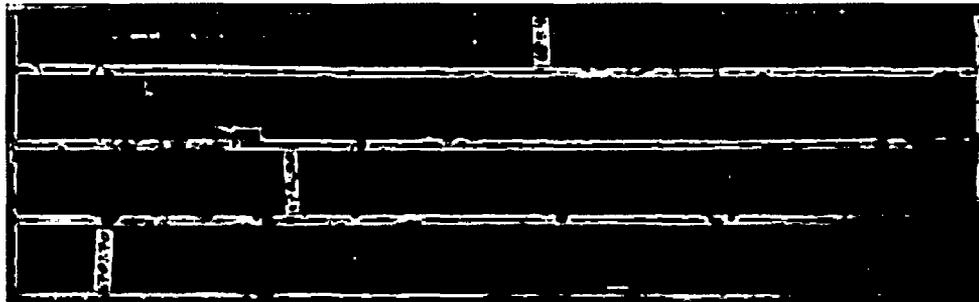
15: SG-PF-02: Profundidad de 56.10 – 59.50 m



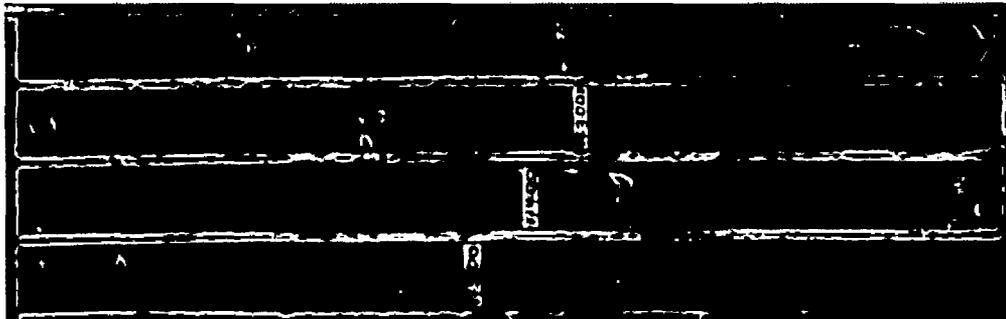
16: SG-PF-02: Profundidad de 59.50 – 63.60 m



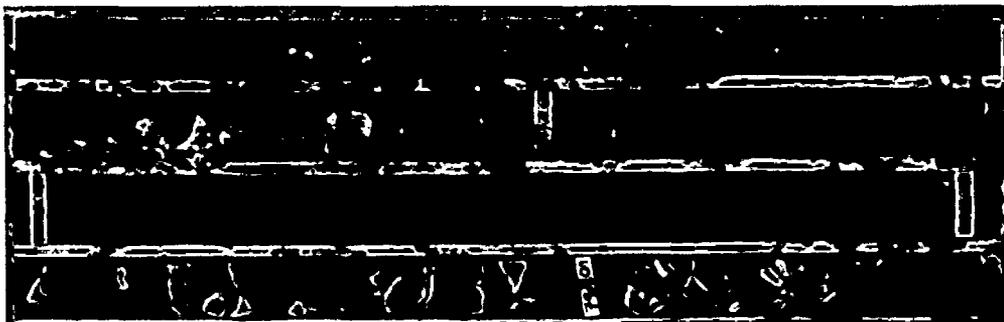
17: SG-PF-02: Profundidad de 63.60 – 68.00 m



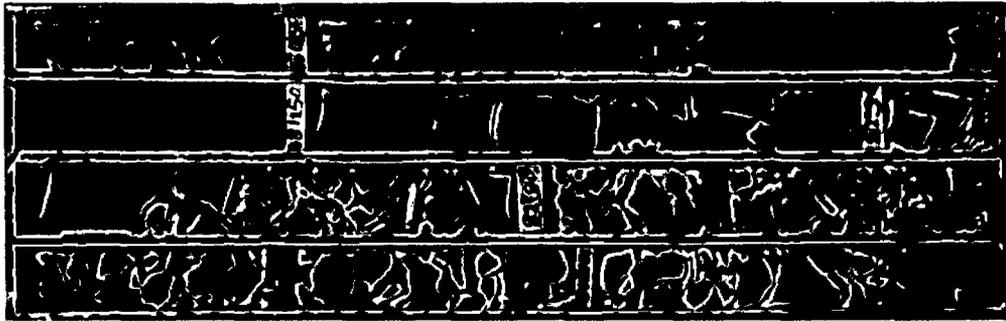
18: SG-PF-02: Profundidad de 68.00 – 71.50 m



19: SG-PF-02: Profundidad de 71.50 – 75.50 m



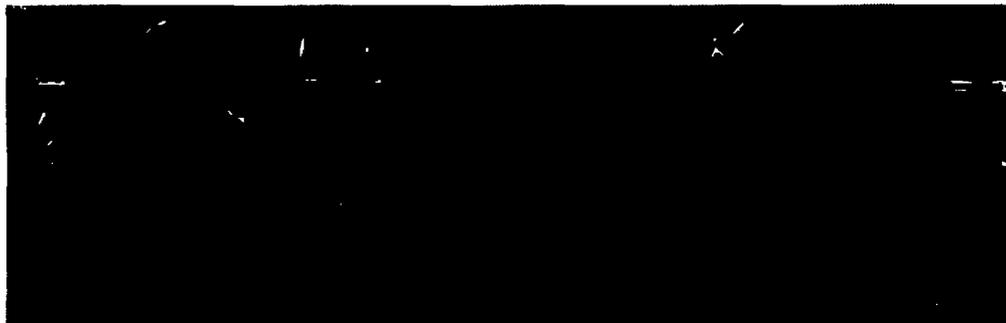
20: SG-PF-02: Profundidad de 75.50 – 80.00 m



21: SG-PF-02: Profundidad de 80.00 – 84.60 m



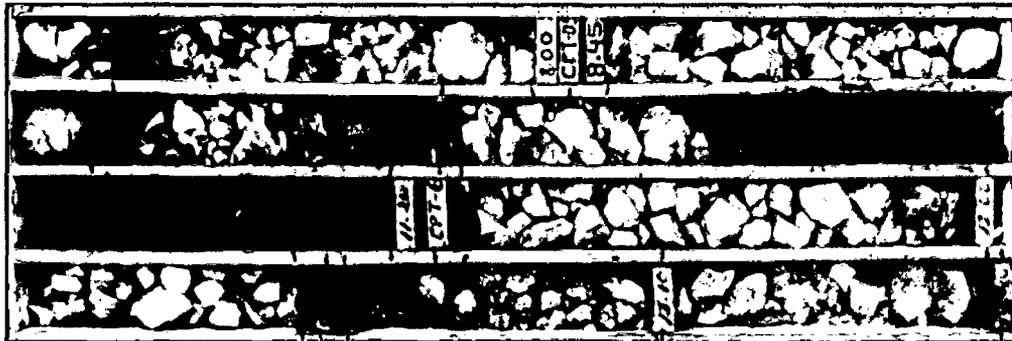
22: SG-PF-02: Profundidad de 84.60 – 89.00 m



23: SG-PF-02: Profundidad de 89.00 – 92.00 m



1: SG-PF-03: Profundidad de 0.00 - 7.30 m



2: SG-PF-03: Profundidad de 7.30 - 13.80 m



3: SG-PF-03: Profundidad de 13.80 - 18.80 m



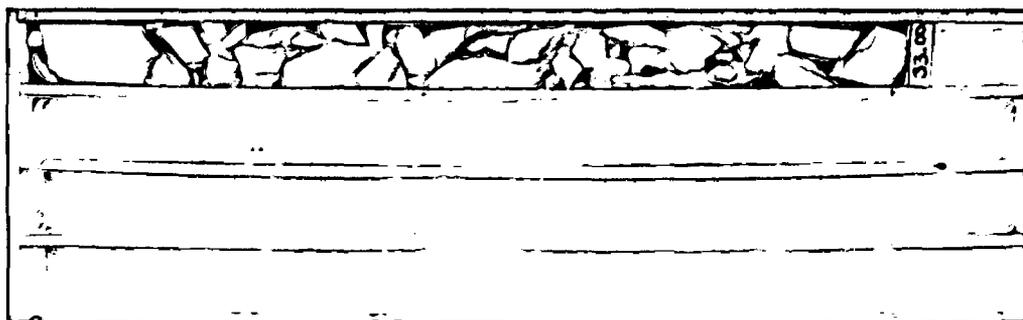
4: SG-PF-03: Profundidad de 18.80 - 23.80 m



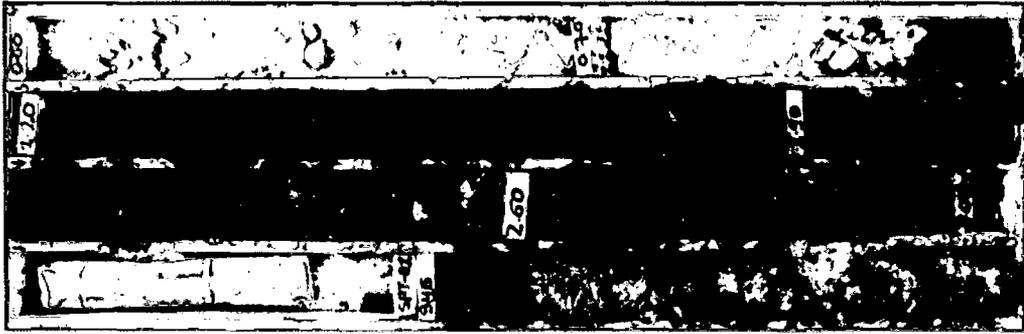
5: SG-PF-03: Profundidad de 23.80 - 28.05 m



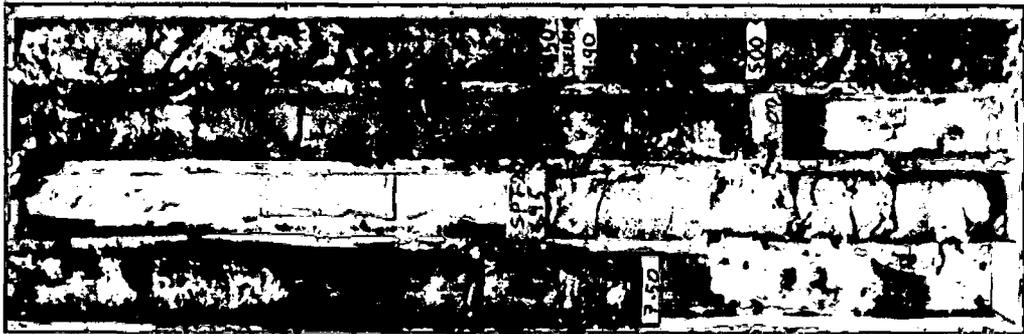
6: SG-PF-03: Profundidad de 28.05 - 32.07 m



7: SG-PF-03: Profundidad de 32.07 - 33.00 m



1: SG-PF-05: Profundidad de 0.00 - 4.05 m



2: SG-PF-05: Profundidad de 4.05 - 7.50 m



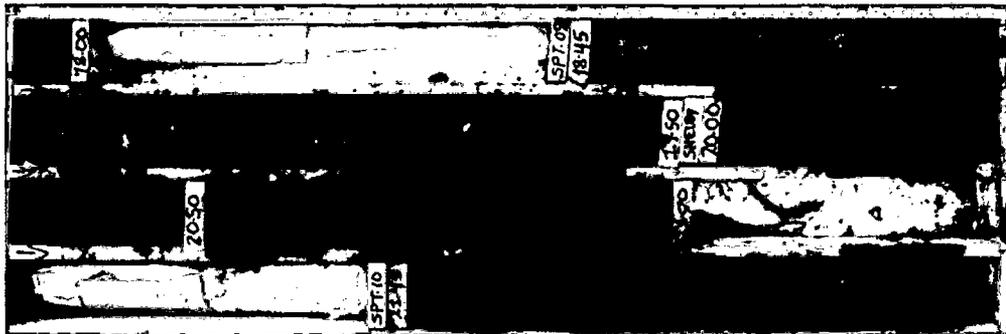
3: SG-PF-05: Profundidad de 7.50 - 11.45 m



4: SG-PF-05: Profundidad de 11.45 - 14.40 m



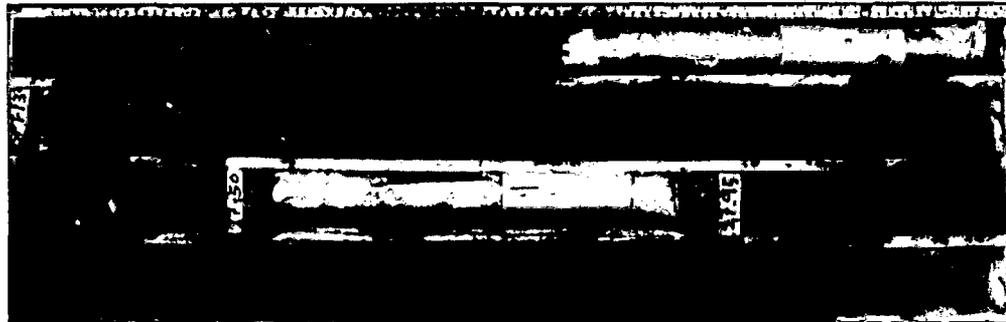
5: SG-PF-05: Profundidad de 14.40 - 17.95 m



6: SG-PF-05: Profundidad de 17.95 - 22.00 m



7: SG-PF-05: Profundidad de 22.00 - 25.50 m



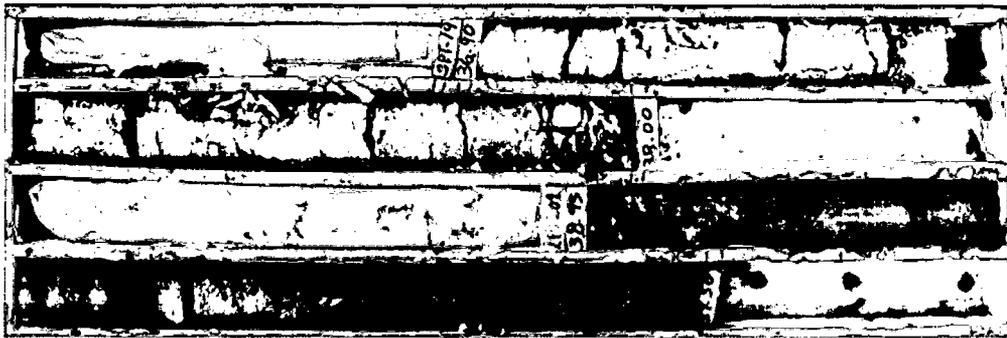
8: SG-PF-05: Profundidad de 25.50 - 29.00 m



9: SG-PF-05: Profundidad de 29.00 - 32.95 m



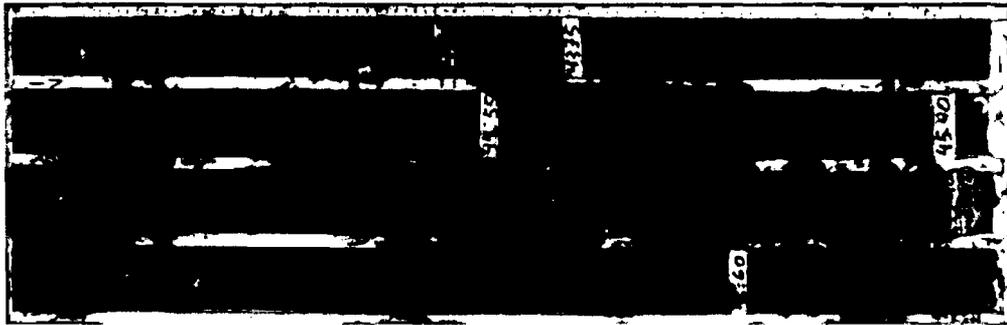
10: SG-PF-05: Profundidad de 32.95 - 36.50 m



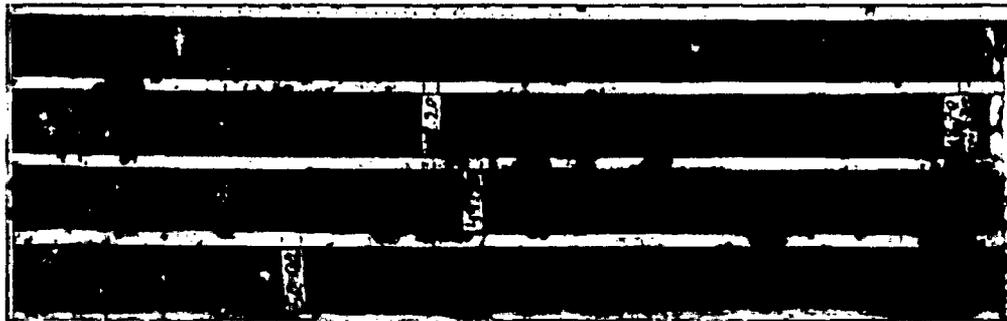
11: SG-PF-05: Profundidad de 36.50 - 39.50 m



12: SG-PF-05: Profundidad de 39.50 - 43.30 m



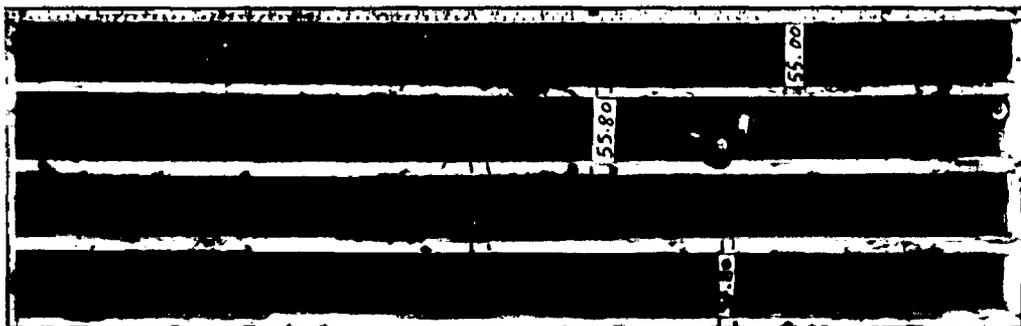
13: SG-PF-05: Profundidad de 43.30 - 46.90 m



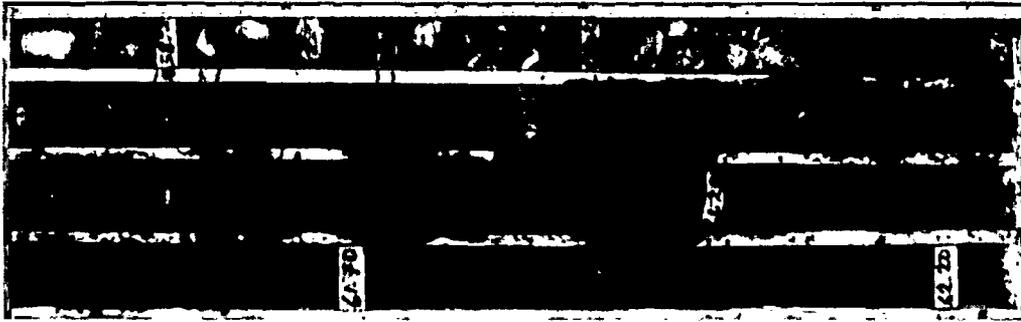
14: SG-PF-05: Profundidad de 46.90 - 50.70 m



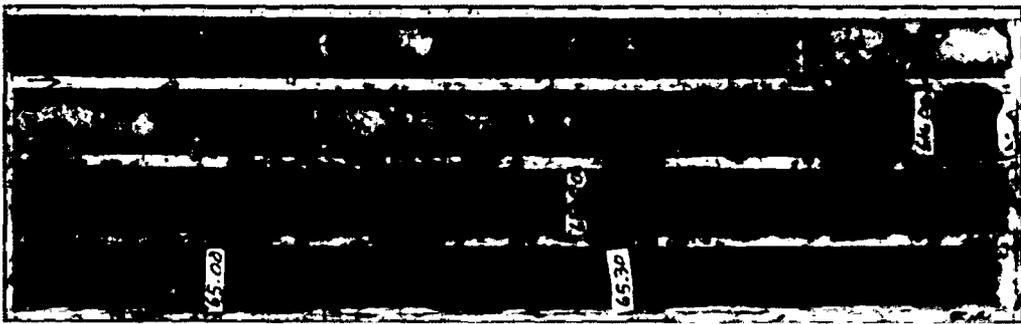
15: SG-PF-05: Profundidad de 50.70 - 54.40 m



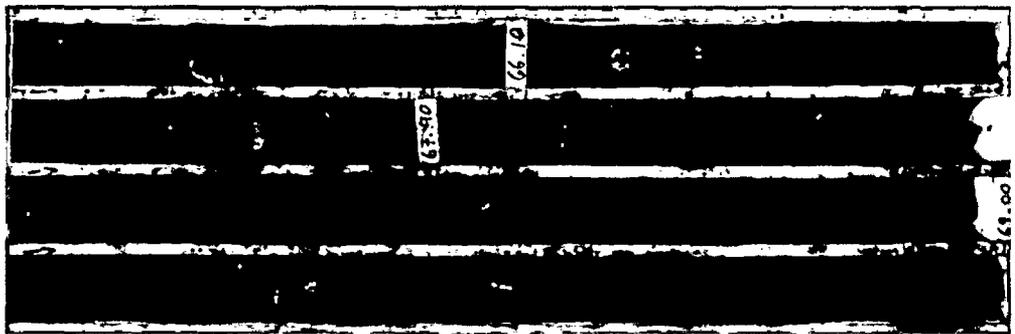
16: SG-PF-05: Profundidad de 54.40 - 58.00 m



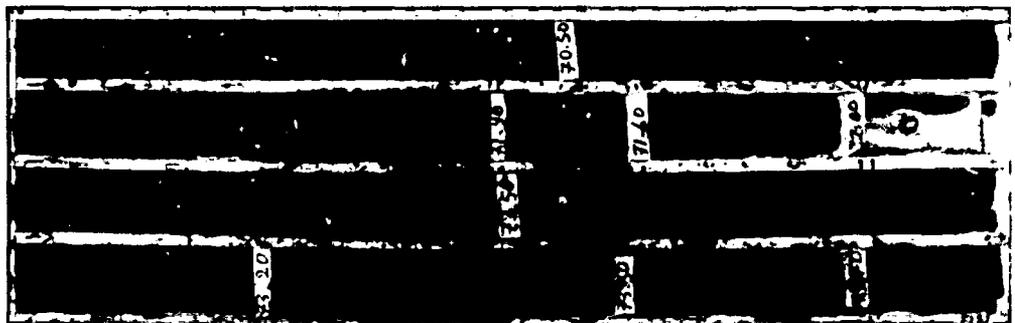
17: SG-PF-05: Profundidad de 58.00 - 62.20 m



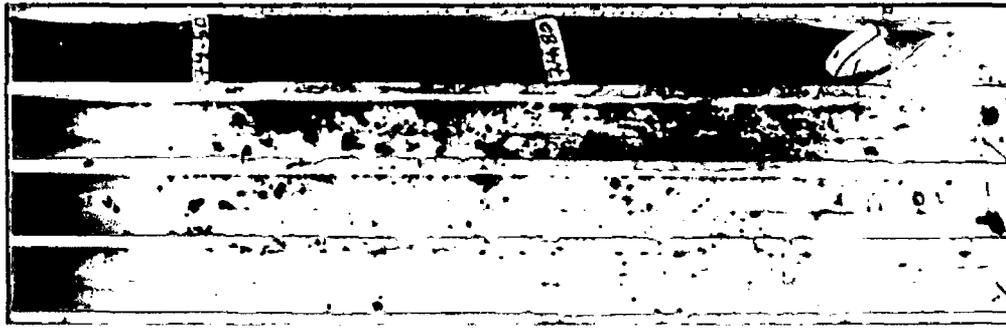
18: SG-PF-05: Profundidad de 62.20 - 65.70 m



19: SG-PF-05: Profundidad de 65.70 - 70.00 m



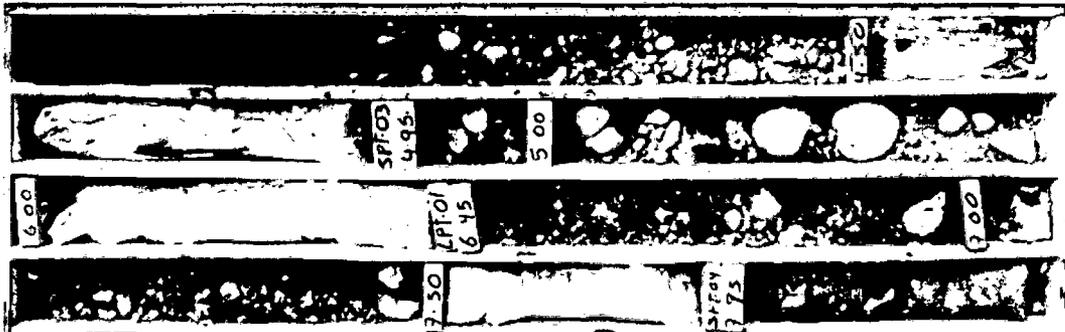
20: SG-PF-05: Profundidad de 70.00 - 73.85 m



21: SG-PF-05: Profundidad de 73.85 - 75.00 m



1: SG-PF-07B: Profundidad de 0.00 – 3.75 m



2: SG-PF-07B: Profundidad de 3.75 – 8.30 m



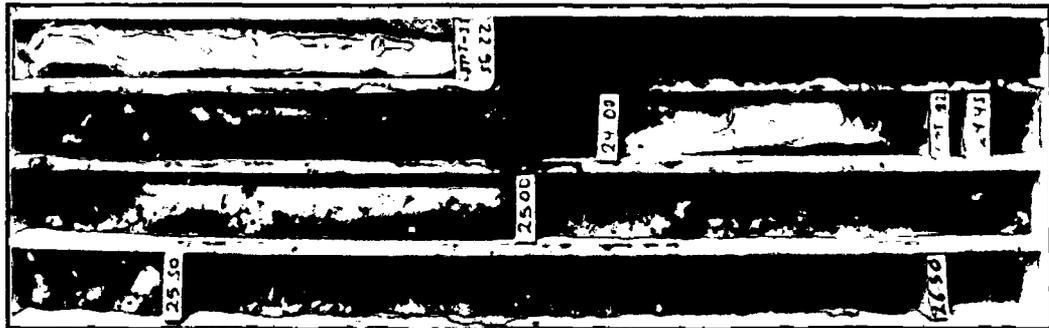
3: SG-PF-07B: Profundidad de 8.30 – 12.45 m



4: SG-PF-07B: Profundidad de 12.45 – 17.45 m



5: SG-PF-07B: Profundidad de 17.45 – 22.50 m



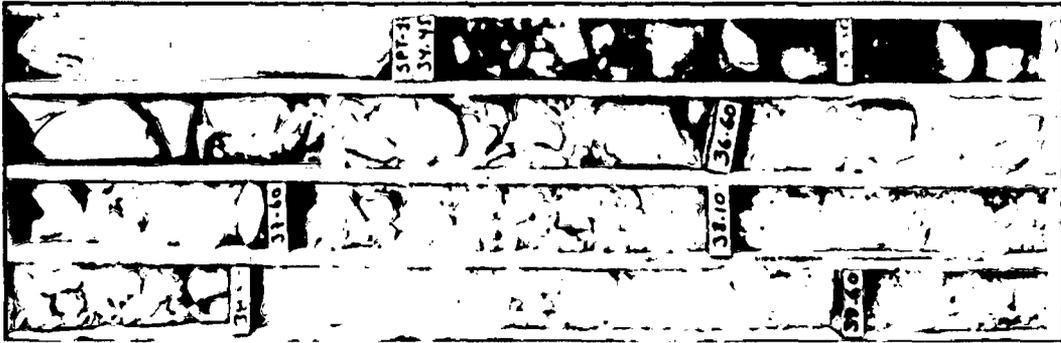
6: SG-PF-07B: Profundidad de 22.50 – 26.50 m



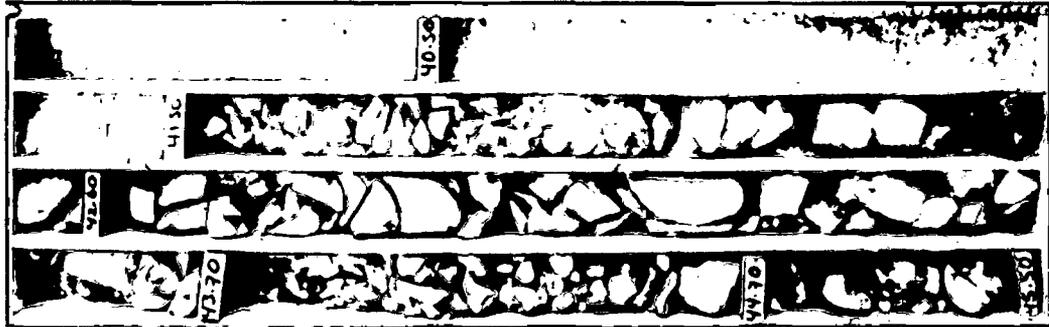
7: SG-PF-07B: Profundidad de 26.50 – 30.40 m



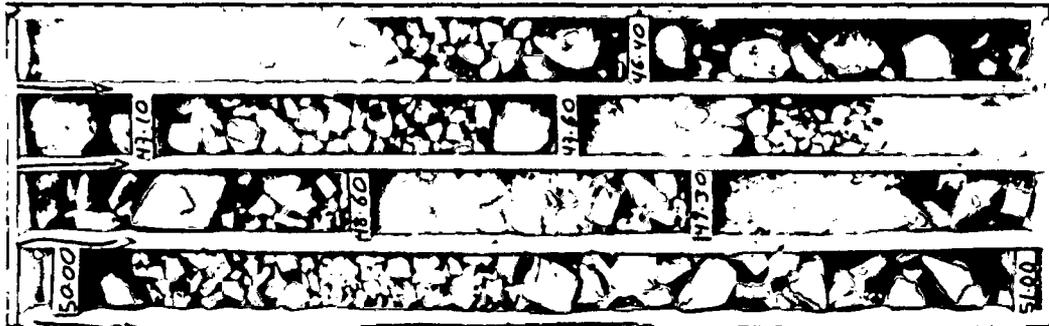
8: SG-PF-07B: Profundidad de 30.40 – 34.00 m



9: SG-PF-07B: Profundidad de 34.00 – 39.80 m



10: SG-PF-07B: Profundidad de 39.80 – 45.50 m



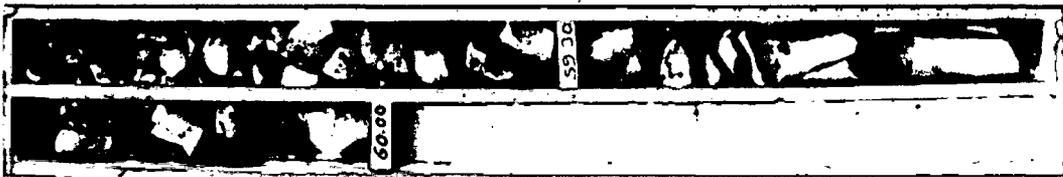
11: SG-PF-07B: Profundidad de 45.50 – 51.00 m



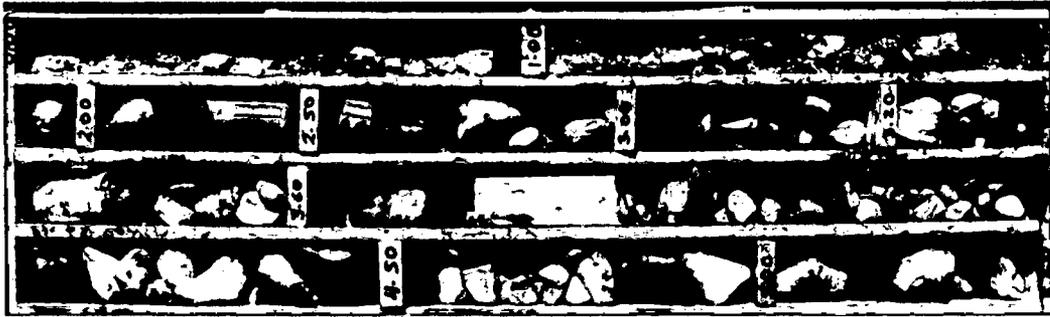
12: SG-PF-07B: Profundidad de 51.00 – 54.60 m



13: SG-PF-07B: Profundidad de 54.60 – 58.80 m



14: SG-PF-07B: Profundidad de 58.80 – 60.00 m



1: SG-PF-08: Profundidad de 0.00 – 5.60 m



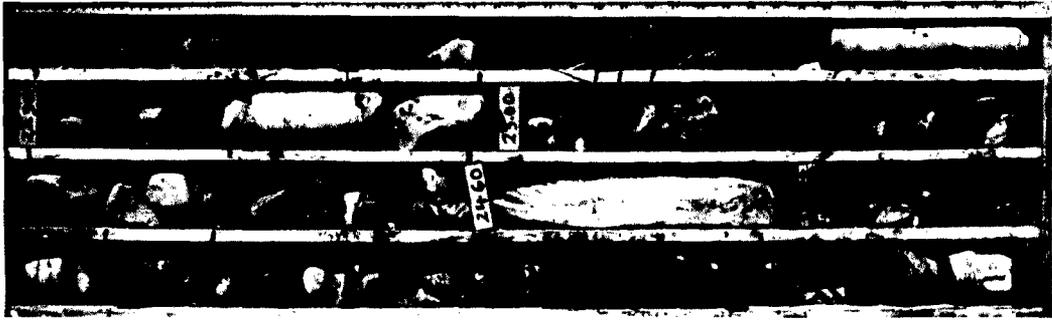
2: SG-PF-08: Profundidad de 5.60 – 11.40 m



3: SG-PF-08: Profundidad de 11.40 – 16.13 m



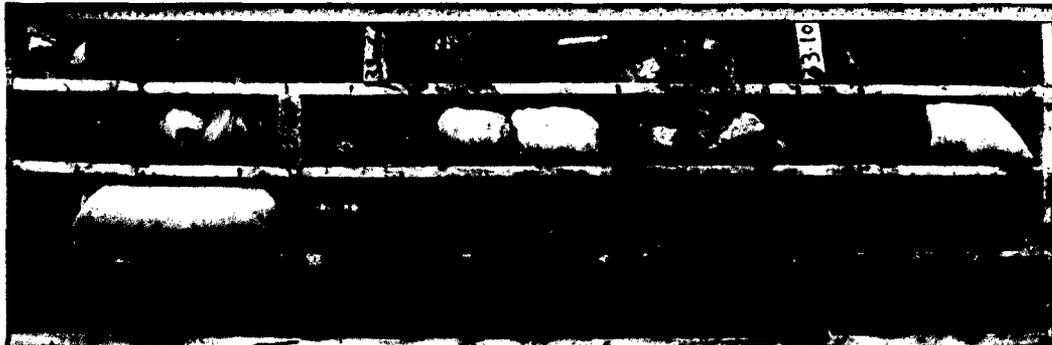
4: SG-PF-08: Profundidad de 16.13 – 20.70 m



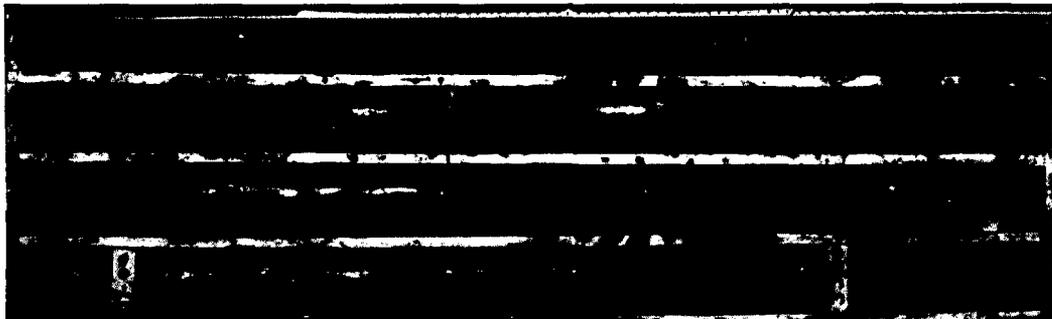
5: SG-PF-08: Profundidad de 20.70 – 26.00 m



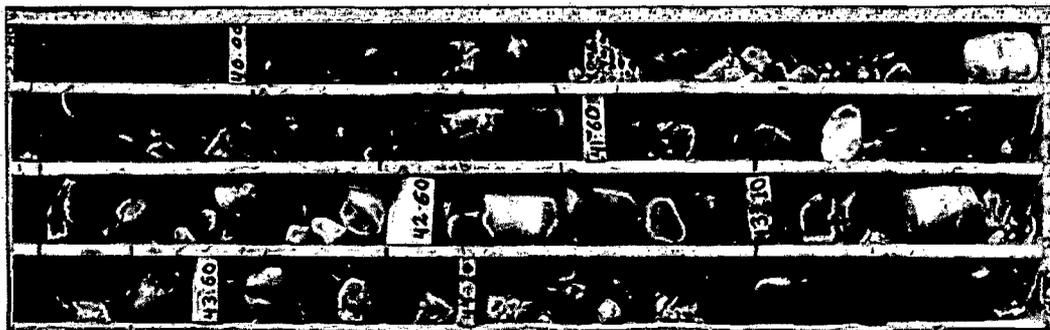
6: SG-PF-08: Profundidad de 26.00 – 32.20 m



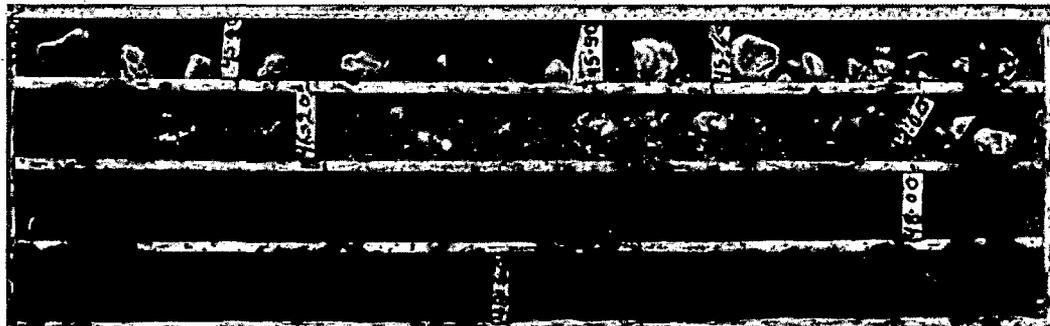
7: SG-PF-08: Profundidad de 32.20 – 36.30 m



8: SG-PF-08: Profundidad de 36.30 – 39.80 m



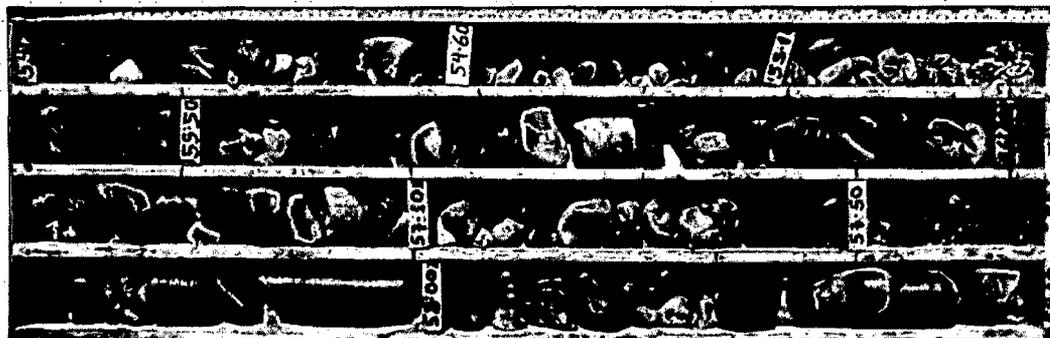
9: SG-PF-08: Profundidad de 39.80 – 44.80 m



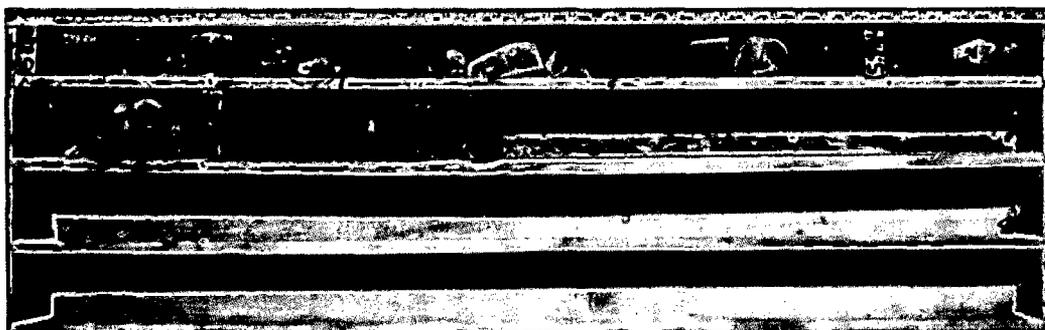
10: SG-PF-08: Profundidad de 44.80 – 49.30 m



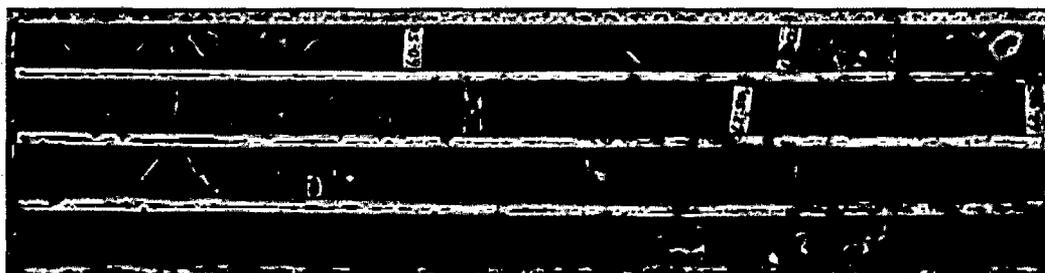
11: SG-PF-08: Profundidad de 49.30 – 54.20 m



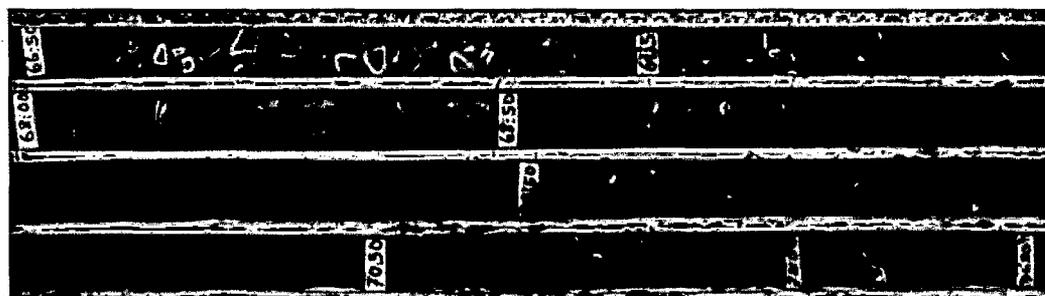
12: SG-PF-08: Profundidad de 54.20 – 58.60 m



13: SG-PF-08: Profundidad de 58.60 – 60.00 m



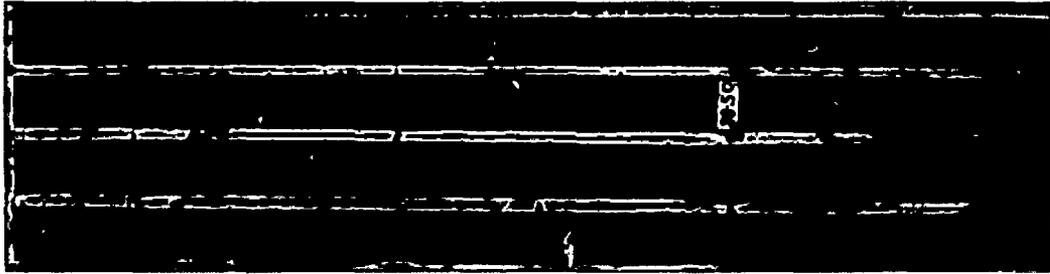
14: SG-PF-08: Profundidad de 60.00 – 66.50 m



15: SG-PF-08: Profundidad de 66.50 – 71.50 m



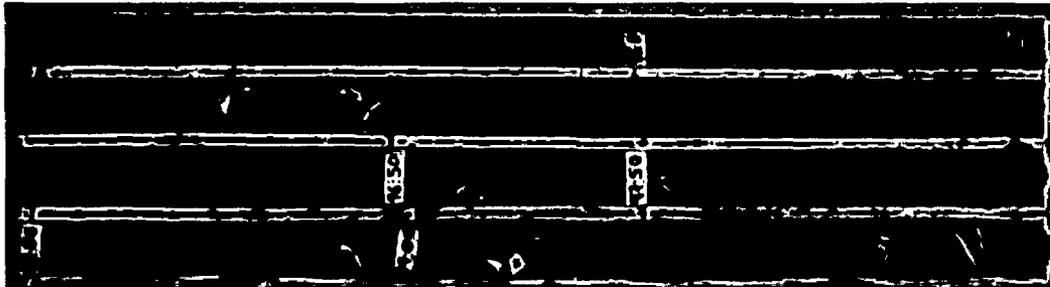
16: SG-PF-08: Profundidad de 71.50 – 77.80 m



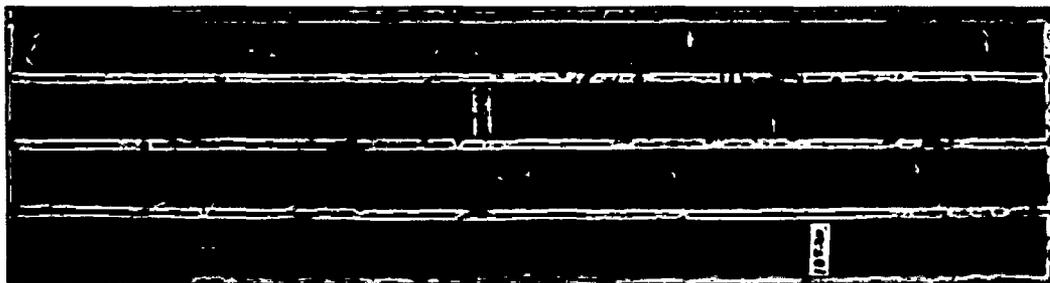
17: SG-PF-08: Profundidad de 77.80 – 85.00 m



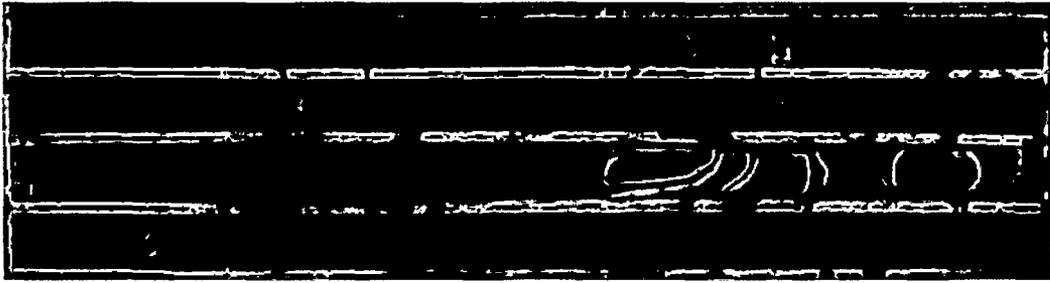
18: SG-PF-08: Profundidad de 85.00 – 92.00 m



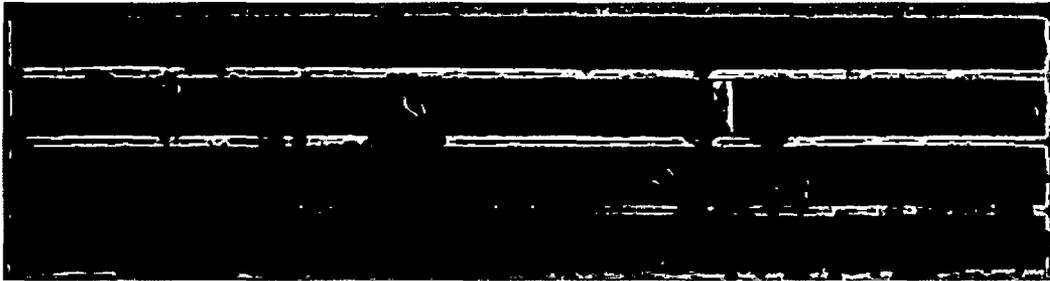
19: SG-PF-08: Profundidad de 92.00 – 100.00 m



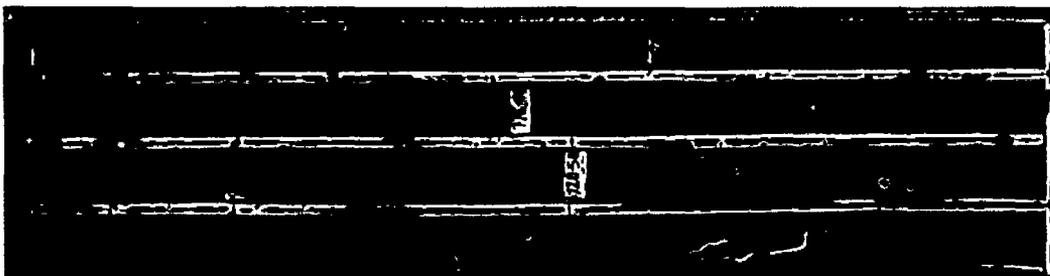
20: SG-PF-08: Profundidad de 100.00 – 105.50 m



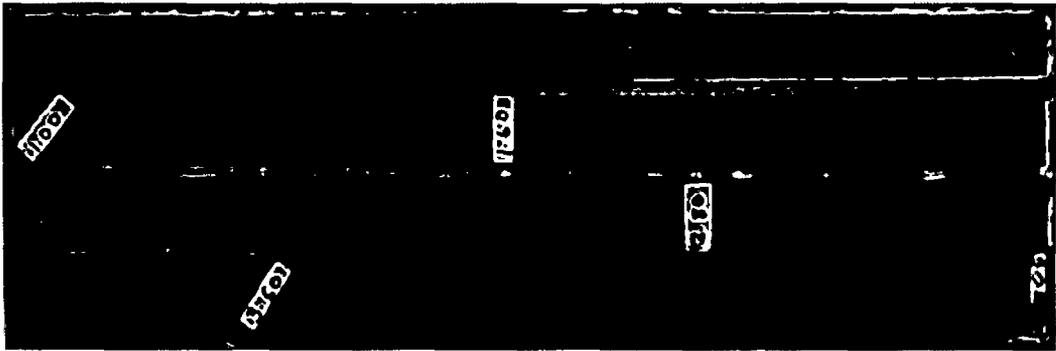
21: SG-PF-08: Profundidad de 105.50 – 110.00 m



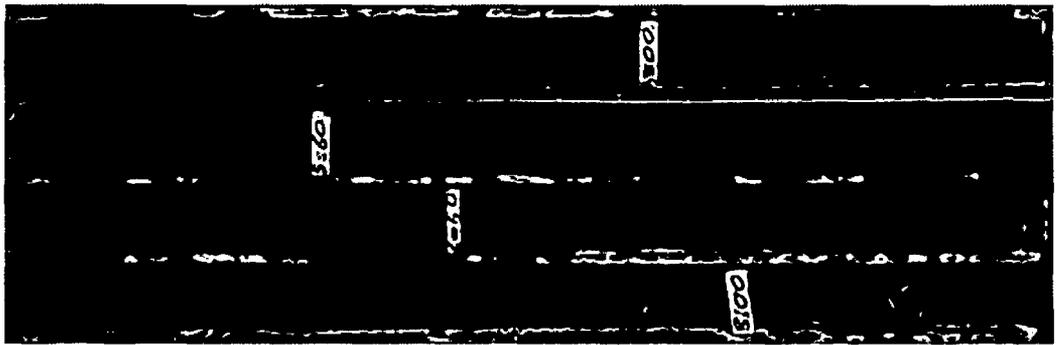
22: SG-PF-08: Profundidad de 110.00 – 115.50 m



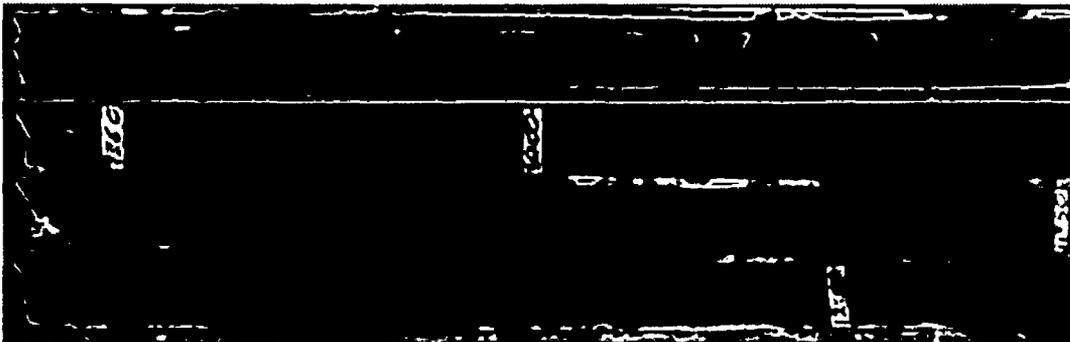
23: SG-PF-08: Profundidad de 115.50 – 121.50 m



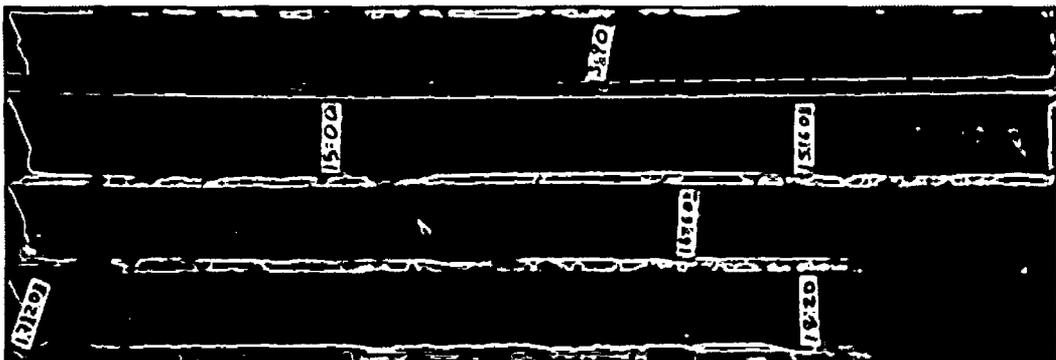
1: SH-01: Profundidad de 0.00 – 4.40 m



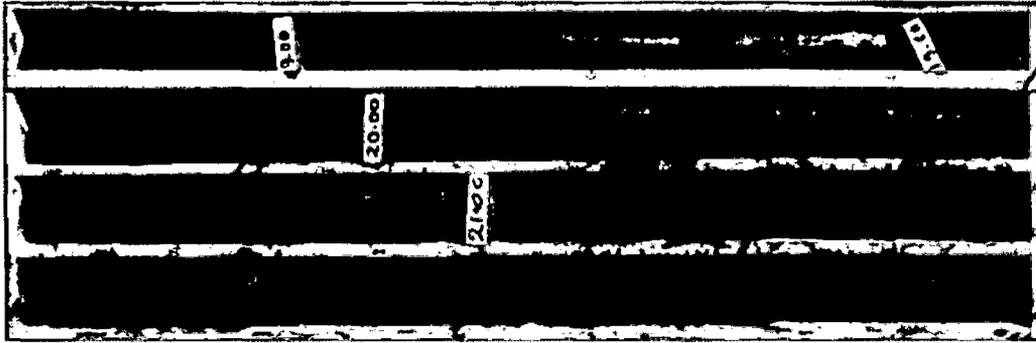
2: SH-01: Profundidad de 4.40 – 8.30 m



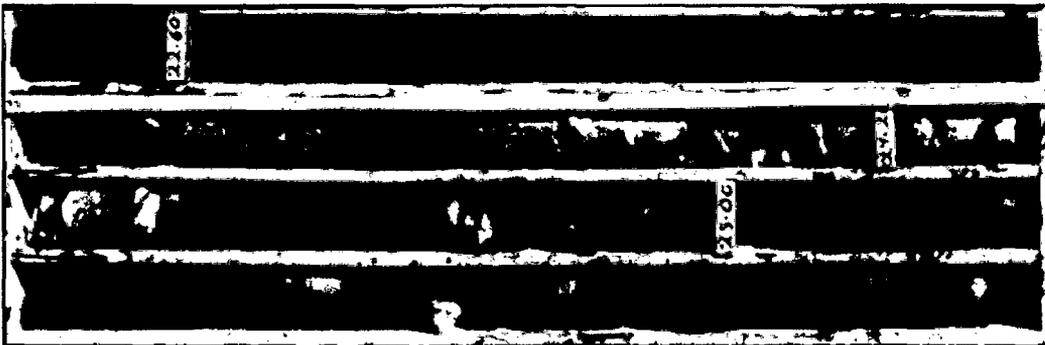
3: SH-01: Profundidad de 8.30 – 12.82 m



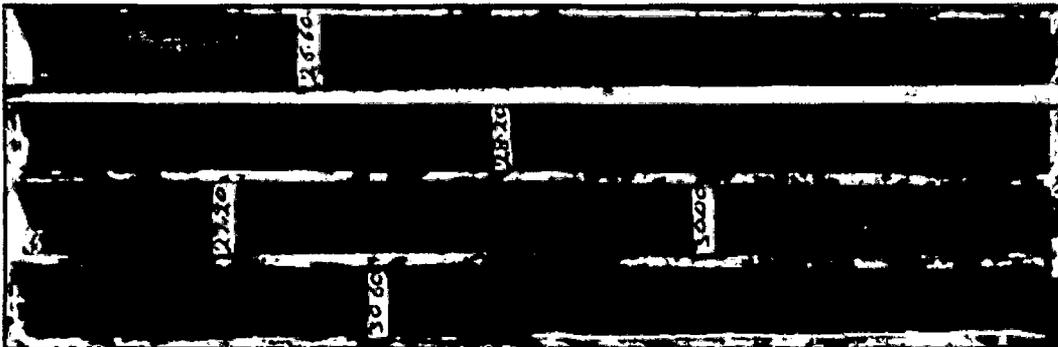
4: SH-01: Profundidad de 12.82 – 18.42 m



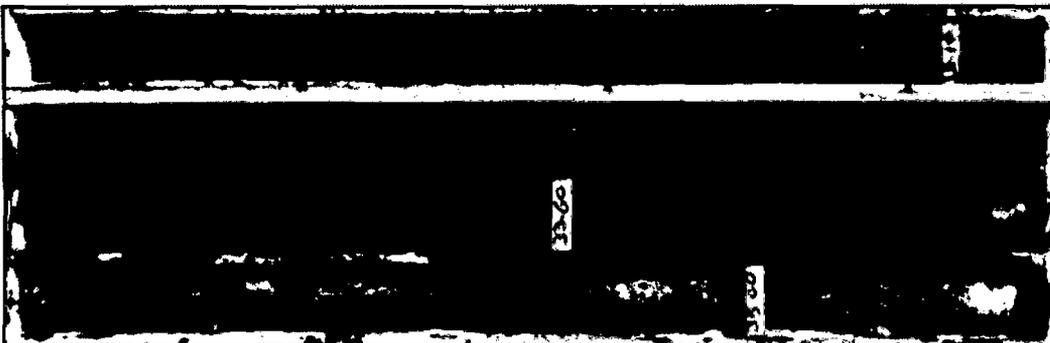
5: SH-01: Profundidad de 18.42 – 22.45 m



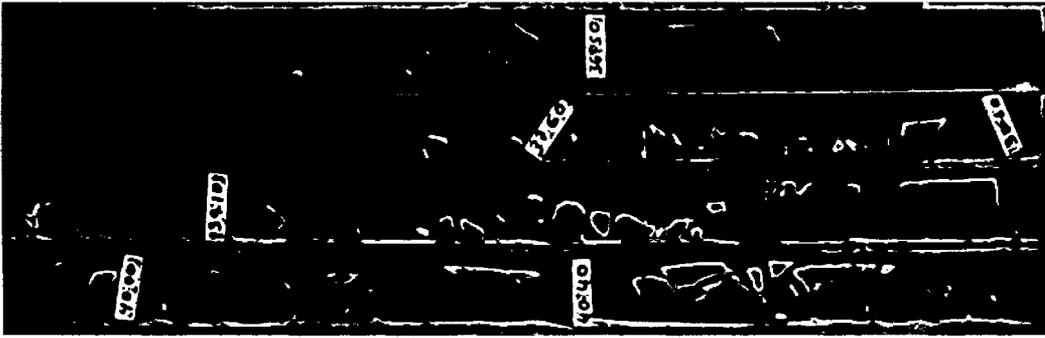
6: SH-01: Profundidad de 22.45 – 26.45 m



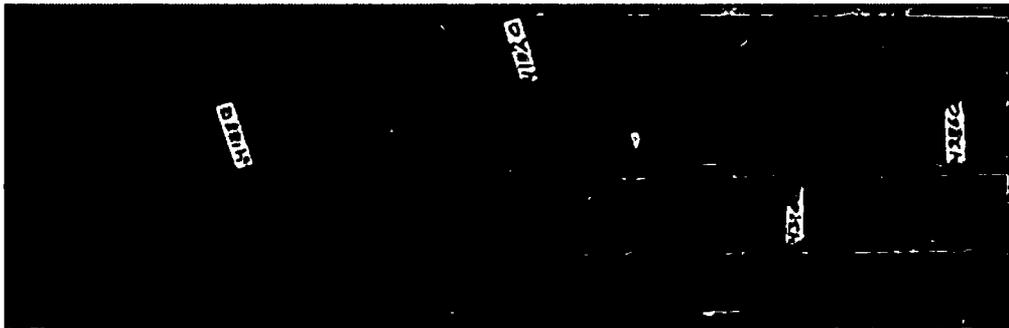
7: SH-01: Profundidad de 26.45 – 31.25 m



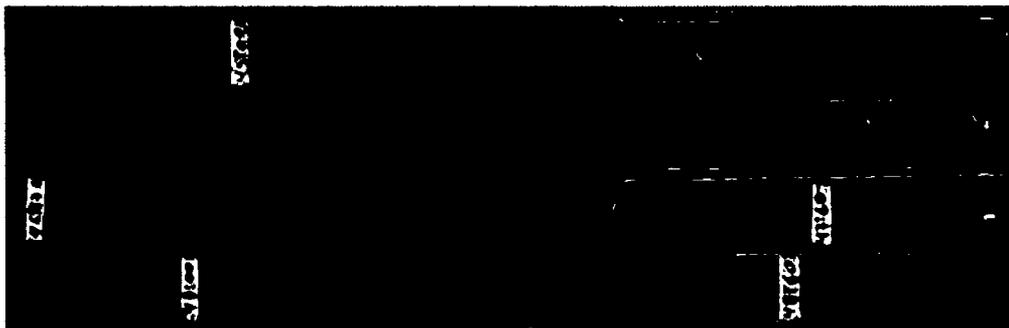
8: SH-01: Profundidad de 31.25 – 35.28 m



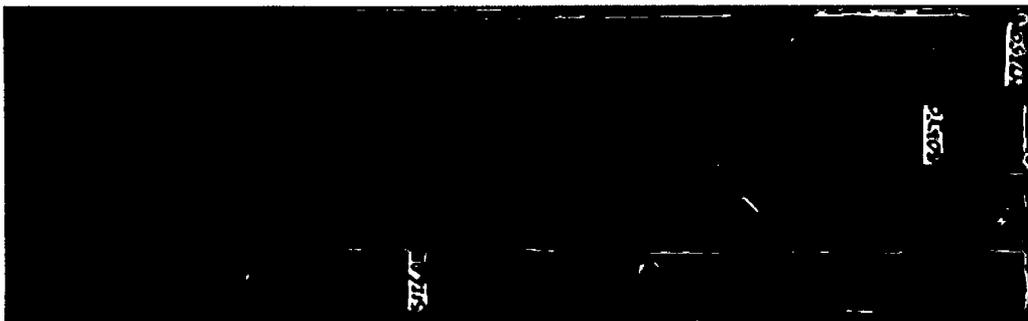
9: SH-01: Profundidad de 35.28 – 40.85 m



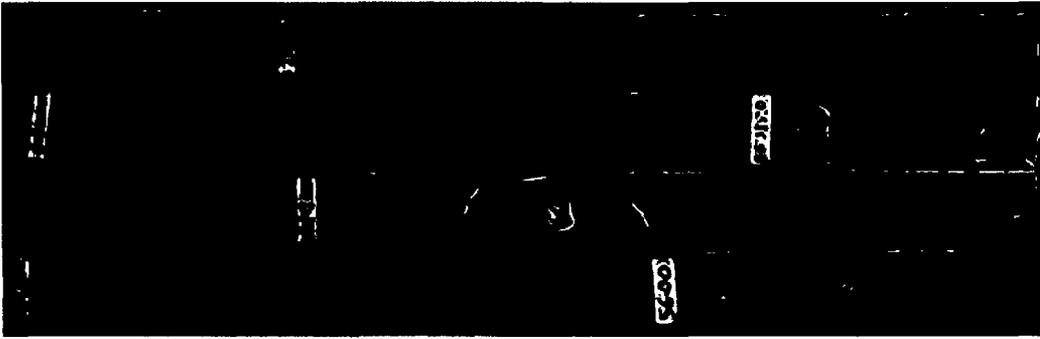
10: SH-01: Profundidad de 40.85 – 44.80 m



11: SH-01: Profundidad de 44.80 – 48.80 m



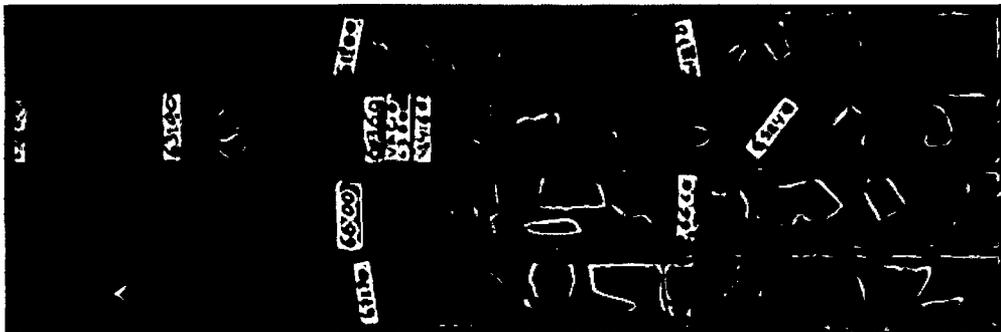
12: SH-01: Profundidad de 48.80 – 52.20 m



13: SH-01: Profundidad de 52.20 – 56.35 m



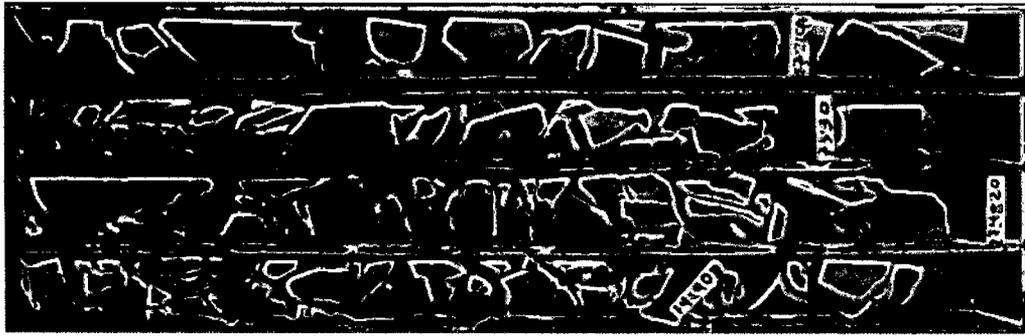
14: SH-01: Profundidad de 56.35 – 60.40 m



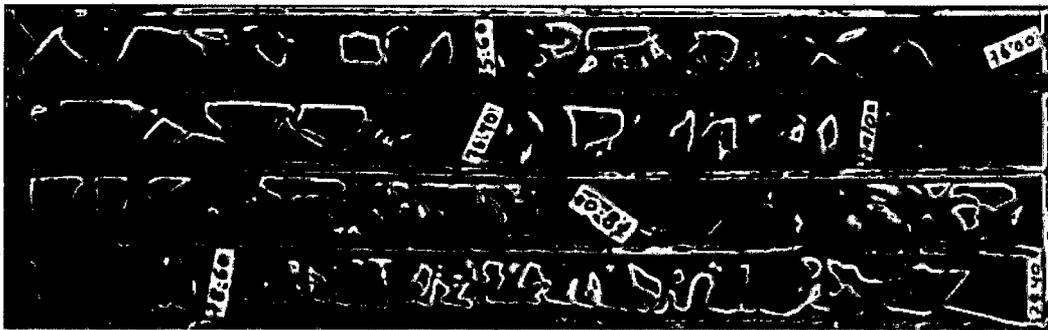
15: SH-01: Profundidad de 60.40 – 67.60 m



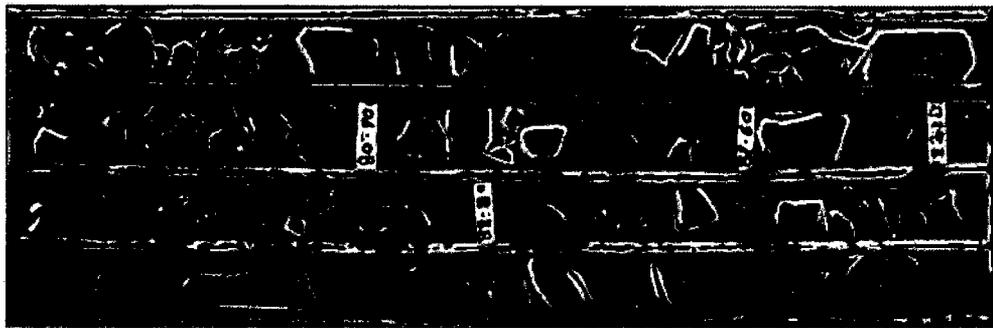
16: SH-01: Profundidad de 67.60 – 71.60 m



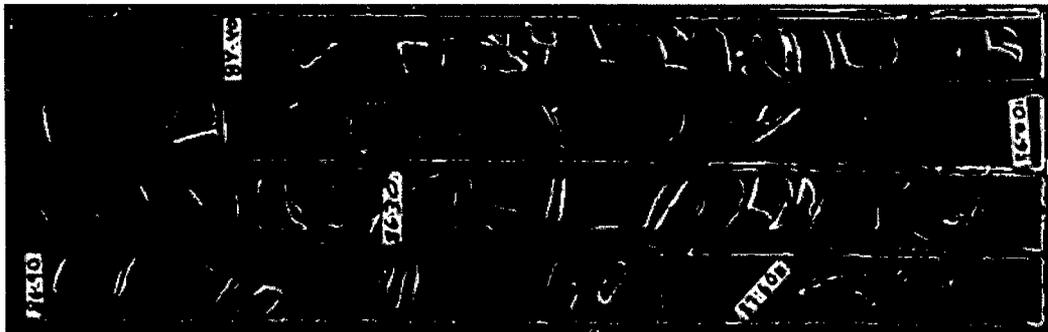
17: SH-01: Profundidad de 71.60 – 75.15 m



18: SH-01: Profundidad de 75.15 – 79.40 m



19: SH-01: Profundidad de 79.40 – 84.20 m



20: SH-01: Profundidad de 84.20 – 87.95 m



21: SH-01: Profundidad de 87.95 – 91.50 m



22: SH-01: Profundidad de 91.50 – 95.10 m



23: SH-01: Profundidad de 95.10 – 98.90 m



24: SH-01: Profundidad de 98.90 – 100.00 m

ANEXO 04
Planos