

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS Y  
GEOGNÓSTICAS EN EL PROYECTO CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA “LAS PIZARRAS”**

**INFORME POR COMPETENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLOGO**

**PRESENTADO POR  
EVER RAFAEL GUILLERMO TÁMARA**

**LIMA – PERU**

**2012**

**A mis padres**

**INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS Y  
GEOGNÓSTICAS EN EL PROYECTO CENTRAL  
HIDROLÉCTRICA “LAS PIZARRAS”**

## RESUMEN

El Proyecto CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS, se encuentra ubicado en el distrito y provincia de Santa Cruz del departamento de Cajamarca, propiedad de la Empresa Río Doble S.A.C. El proyecto energético va a generar 18 Mw de energía eléctrica, para ser comercializado por el sistema interconectado.

La Empresa Ingeniería de Proyectos Energéticos S.R.L. EXERGIA está ejecutando el diseño básico del Proyecto de la Central Hidroeléctrica Las Pizarras, parte del cual comprende el estudio de alternativas de trazado del aprovechamiento.

Se programaron tres alternativas, en las que se realizaron investigaciones geotécnicas, geológicas y litológicas estas dos últimas mediante análisis geognósticas. Se seleccionaron dos alternativas, donde la única variación entre ambas, es la ubicación de la casa de máquina, por consideraciones climáticas y económicas.

Se realizaron perforaciones diamantinas rotativas con recuperación de muestras continuas tanto en suelo como en roca, con pruebas de permeabilidad en sondeos donde se alcanzo roca. En total se ejecutaron 12 sondeos.

Se realizaron como investigaciones complementarias Excavaciones manuales a cielo abierto (calicatas) y Ensayos de STP.

En base a las investigaciones realizadas y la información geológica de campo se seleccionaron las alternativas con mejores condiciones geológicas y económicas.

CERTIFICADO FORMATO "E"

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS  
RESUMEN

### **CAPITULO I: GENERALIDADES**

1.1	INTRODUCCIÓN	11
1.2	ALCANCES Y OBJETIVOS	13
1.3	UBICACIÓN Y ACCESO	13
1.4	INFRAESTRUCTURA	16
1.5	RECURSOS DE EQUIPOS Y MATERIALES	16
1.6	INFRAESTRUCTURA PREVIA	17

### **CAPITULO II: GEOLOGÍA**

2.1	GEOMORFOLOGÍA	19
2.2	HIDROGEOLOGÍA	21
2.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	22
2.4	ESTRATIGRAFÍA	25
2.4.1	<b>CRETACEO</b>	25
	FORMACION CHULEC	25
2.4.2	<b>TERCIARIO</b>	25
	VULCANITAS HUAMBO (Ts – Vh)	25
	VULCANITAS LLAMA (Ti-VIII )	26
2.4.3	<b>CENOZOICO - CUATERNARIO RECIENTE</b>	26
	CUBIERTA COLUVIAL-DELUVIAL	26
	MATERIAL DE DERRUMBE Y ESCOMBROS DE TALUD	27
	SUELOS RESIDUALES	

### **CAPITULO III: DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA**

3.1	GENERALIDADES	30
3.2	UNIDAD GEOTÉCNICA I - SUELOS	30
	3.2.1 UNIDAD GEOTÉCNICA I - A	30
	3.2.2 UNIDAD GEOTECNICA I - B	30
3.3	UNIDAD GEOTÉCNICA II – ROCAS	31
	3.2.1 UNIDAD GEOTÉCNICA II - A	31
	3.2.2 UNIDAD GEOTECNICA II - B	31

<b>CAPITULO IV: ALTERNATIVAS</b>		
4.1	ALTERNATIVA 1 A	32
	4.1.1 PRESA 1 Y TOMA	32
	4.1.2 CANAL DE ADUCCIÓN	34
	4.1.3 TÚNEL DE ADUCCION	37
	4.1.4 CÁMARA DE CARGA	40
	4.1.5 TUBERÍA DE PRESIÓN	41
	4.1.6 CASA DE MÁQUINAS	42
4.2	ALTERNATIVA 1B	43
4.3	ALTERNATIVA 2	43
	4.3.1 PRESA 1 DE DERIVACIÓN Y TOMA	43
	4.3.2 TÚNEL DE ADUCCION	44
	4.3.3 CÁMARA DE CARGA – TUBERÍA FORZADA – CASA DE MÁQUINAS.	45
4.4	ALTERNATIVA 3	45
	4.4.1 PRESA 2 Y TOMA	45
	4.4.2 TÚNEL DE ADUCCION	46
	4.4.3 CHIMENEA DE EQUILIBRIO	47
	4.4.4 TUBERÍA FORZADA	48
	4.4.5 CASA DE MÁQUINAS	48
<b>CAPITULO V: PERFORACIONES DIAMANTINAS</b>		
5.1	GENERALIDADES	49
5.2	PLANEAMIENTO DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA	53
	5.2.1 PROGRAMACIÓN DE LOS SONDEOS	53
	5.2.2 MANIPULACIÓN DE TESTIGOS	55
	5.2.3 REGISTRO DE PERFORACIÓN	56
	5.2.4 RECUPERACIÓN DE MUESTRA Y RQD	56
	5.2.5 PERFIL GEOLÓGICO	57
	5.2.6 DESCRIPCIÓN DE TESTIGOS	57
	5.2.7 PARÁMETROS DE ROCA	58
5.3	TALADROS REALIZADOS	61
	5.3.1 PRESA, TOMA Y CANAL DE DESVÍO	61
	5.3.2 TÚNEL	61
	5.3.3 CHIMENEA DE EQUILIBRIO	62
	5.3.4 CASA DE MÁQUINA	62
5.4	EXCAVACIONES MANUALES	64
<b>CAPITULO VI: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD</b>		
6.1	GENERALIDADES	66
6.2	ENSAYO LUGEON	66
	6.2.1 EQUIPO	67
	BOMBA	67
	VÁLVULAS	68
	MANÓMETROS	68
	MEDIDOR DE CAUDAL	68
	MANGUERA DE PRESIÓN Y TUBERÍA DE INYECCIÓN	69

PERMEÁMETRO DE FONDO O DOBLE FONDO	69
PIEZOMETRO.	69
TANQUE AMORTIGUADOR O ESTABILIZADOR DE PRESIÓN	69
CRONÓMETRO	70
ACCESORIOS	70
6.2.2 CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	70
6.2.3 METODOLOGÍA DE EJECUCIÓN	71
PREPARACIÓN DEL BULBO DE ENSAYO E INSTALACIÓN DEL EQUIPO	
PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	73
CÁLCULOS DE LA PRUEBA Y GRÁFICO DE RESULTADOS	73
6.2.4 INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS DE MEDICIÓN LUGEON	75
6.2.4.1 FLUJO LAMINAR	75
6.2.4.2 FLUJO TURBULENTO	75
6.2.4.2 DILATACIÓN	76
6.2.4.2 EROSIÓN	76
6.2.4.2 RELLENO	76
6.2.5 DETERMINACIÓN DEL VALOR LUGEON REPRESENTATIVO (UL*)	78
6.3 PRUEBA DE ENSAYO TIPO LEFRANC	81
6.3.1 QUIPO NECESARIO	81
6.3.2 ENSAYO LEFRANC CON CARGA CONSTANTE	81
6.3.2.1 PREPARACIÓN DEL BULBO DE ENSAYO E INSTALACIÓN DEL EQUIPO	82
6.3.2.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	82
6.3.2.3 CALCULO DEL VALOR DE PERMEABILIDAD	83
6.3.3 ENSAYO LEFRANC CON CARGA VARIABLE	85
6.3.3.1 PREPARACIÓN DEL BULBO DE ENSAYO E INSTALACIÓN DE EQUIPO	85
6.3.3.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	85
6.3.3.3 CÁLCULO DEL CAUDAL Y DE LA CARGA HIDRÁULICA.	86
6.3.3.4 CÁLCULO DEL VALOR DE LA PERMEABILIDAD	86
<b>CAPITULO VII: ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)</b>	
7.1 ANTECEDENTE	90
7.2 PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DEL SPT	90
7.2.1 SONDEO	90
7.2.2 MUESTREO	92
7.3 RELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" DEL SPT, DENSIDAD RELATIVA Y ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (f)	94
7.3.1 APORTE DE TERZAGUI y PECK	94
7.3.2 APORTE DE GIBBS y HOLTS	95

7.3.3	APORTE DE PECK Y BAZARAA	97
7.3.4	APORTE DE MEYERHOF	98
7.3.5	FACTORES DE CORRECCION POR SOBRECARGA EN ARENAS	100
7.4	RELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y LA CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS	102
7.5	ALGUNAS APLICACIONES DEL ENSAYO DE PENETRACION STANDARD (S.P.T)	104
7.5.1	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE	104
7.5.1.1	SUELOS GRANULARES	105
7.5.1.2	SUELOS FINOS	107
7.5.1.3	ENSAYOS SPT EN EL TÚNEL	111

## **CAPITULO VIII: CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

8.1	GENERALIDADES	112
8.2.	CLASIFICACIÓN CSIR-VALUACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: RMR	114
8.2.1	RESISTENCIA DE ROCA INTACTA	115
8.2.2	DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA	116
8.2.3	ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES	116
8.2.4	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES	116
8.2.5	CONDICIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	116
8.2.6	CLASIFICACIÓN RMR	116

## **CAPITULO IX: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EJECUTADOS**

9.1	PRESA, TOMA Y CANAL DE DESVÍO	119
9.2	TÚNEL	119
9.2.1	ENSAYO SPT	121
9.3	CHIMENEA DE EQUILIBRIO	122
9.4	CASA DE MÁQUINAS	123
9.4.1	ALTERNATIVA A	123
9.4.2	ALTERNATIVA B	123
9.5	CLASIFICACIÓN CSIR GEOMECÁNICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	126
9.6	EXCAVACIONES MANUALES	132
9.6.1	CALICATAS	132
9.7	PRINCIPALES DIFICULTADES Y SOLUCIONES PRESENTADAS Y ADOPTADAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN.	132

	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>135</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>141</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>142</b>

ANEXO I	: CRITERIOS TÉCNICOS Y METODOLÓGICAS EMPLEADAS	
1.1	PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN EN SUELOS	

1.2 PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN EN ROCA  
1.3 ELECCIÓN Y PERFORMANCE DEL MATERIAL  
DIAMANTINO.

- ANEXO II : CUADRO RESUMEN
- ANEXO III : REGISTRO DE PERFORACIÓN
- ANEXO IV : ALBUM FOTOGRÁFICO
- ANEXO V : REGISTRO DE SPT
- ANEXO VI : CALICATAS
- ANEXO VII : ENSAYO DE PERMEABILIDAD
- ANEXO VIII : INFORME PETROGRÁFICO
- ANEXO IX : ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE
- ANEXO X : ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS
- ANEXO XI : ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN  
TIPO LUGEON.
- ANEXO XII : CUADRO DE CARGAS PORTANTE (SUELOS)
- ANEXO XIII : PLANO GENERAL
- ANEXO IV : SECCIONES

# **CAPITULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El Proyecto Central Hidroeléctrica Las Pizarras es un Proyecto Energético, que contempla la construcción de una Presa, canal de desvío, túnel y casa de máquinas, que generaría una energía de 18Mw que se utilizará para fines comerciales usando el sistema interconectado del país.

Para construir una Central Hidroeléctrica es necesario realizar estudios geotécnicos y geognósticos. LGR Drilling S.A.C. fue contratada por la Empresa Río Doble S.A.C. para ejecutar el programa de perforaciones diamantinas, con recuperación continua de muestras tanto en suelo como en roca. El programa contempla realizar 12 pozos, con un metrado aproximado de 405 metros. También LGR Drilling S.A.C. como parte del programa de investigaciones efectuó 6 excavaciones manuales (calicatas), realizándose muestreos y ensayándose para clasificar los suelos. Como investigaciones complementarias se realizaron ensayos de Penetración Estándar - STP y es necesario señalar que a medida que se profundizaba las perforaciones, se realizaron pruebas de Permeabilidad tipo Lugeon. En los tramos en que la roca se encontraba fracturada y triturada no se realizaron las pruebas por lo que se optó en estos casos medir el consumo de agua por un determinado lapso de tiempo, como información adicional.

El programa ejecutado fue:

- 7 sondajes en el Canal de Desvío – Toma – Presa total de 237.70 m
- 2 sondajes en el Túnel de 55 m en ambos
- 1 sondaje en la Chimenea de Equilibrio de 50.15 m
- 1 sondaje en la Casa de Máquinas de 41.10 m en la alternativa A
- 1 sondaje en la Casa de Máquinas de 30.10 m en la alternativa B

LGR Drilling S.A.C., en todo el Proyecto de la C.H. Las Pizarras realizó 414.25 m de perforación diamantina

Se realizaron 6 calicatas distribuidas y ubicadas en ambas márgenes del Río Chancay en el área proyectada de Casa de Maquinas, en las cuales se realizaron muestreos de suelo, para realizar ensayos de clasificación de suelos.

Como parte del programa de investigación se realizaron dos ensayos de Penetración Estándar – SPT en la zona del túnel.

## **1.2 OBJETIVOS**

Se presenta el trabajo para optar el grado de Ingeniero Geólogo

Los objetivos de las investigaciones realizadas fueron:

- Determinar el perfil litoestratigráfico y la estructura – textura de las unidades de suelo y roca.
- Determinar las propiedades hidráulicas de la roca
- Determinar la calidad del macizo rocoso.
- Definir las características geotécnicas en la zona de cimentación

Para caracterizar geológicamente los sitios proyectados para la construcción de las obras, se requiere del conocimiento de los parámetros hidrogeológicos de la sección de cierre, de la presa y del canal de desvío, para establecer márgenes de seguridad referentes a estabilidad, estanqueidad y requerimientos de inyección para la formación de la pantalla de impermeabilización.

## **1.3 UBICACIÓN Y ACCESO**

El proyecto Central Hidroeléctrica LAS PIZARRAS se halla ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Santa Cruz, distrito de Sexi.

La presa, la toma y el canal desvío proyectadas se ubican en la parte intermedia de la cuenca del Río Chancay, aproximadamente a 500 m aguas abajo del puente Lipor, a una altitud aproximada de 1176 m.s.n.m.

Las investigaciones realizadas para el túnel proyectado se realizó aproximadamente a 2 km del canal de desvío, con dirección aguas abajo del Río Chancay.

Para la construcción de la casa de máquinas se presentan las alternativas A y B. La alternativa A es proyectada en la margen izquierda del Río Cañad a una altitud de 1143 m.s.n.m. La alternativa B de la casa de maquinas está proyectada en la margen derecha del Río Cañad, cerca de la convergencia del Río Chancay con el Río Cañad a una altitud de 1104.80 m.s.n.m. (Ver figura N° 1).

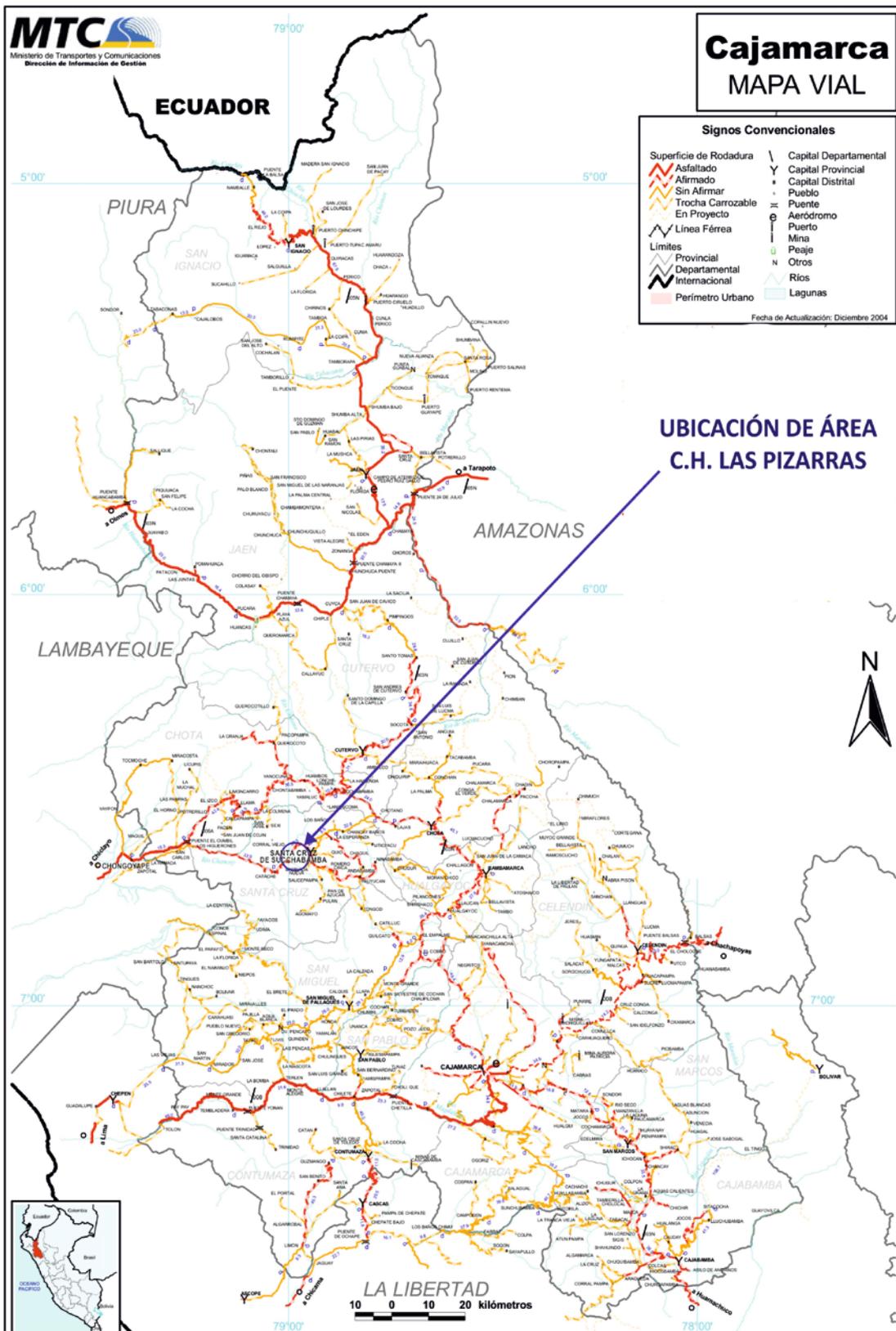


Fig. N°1 Mapa de acceso a la zona del Proyecto

El acceso a la zona del proyecto, se puede realizar desde la ciudad de Chiclayo, por medio de una carretera asfaltada de 77 Km hasta la ciudad de Chongoyape, desde este lugar se puede acceder por medio de un camino afirmado en condiciones regulares de 45 Km a la zona del proyecto, el tiempo de viaje es aproximadamente de 5 horas (véase mapa 1.2).

#### **1.4 INFRAESTRUCTURA**

Para atender los trabajos del proyecto, se contó con un campamento base ubicado en la provincia de Santa Cruz, alquilándose para ello una casa para parte del personal, también se contrato alojamiento en dos hoteles para el resto del personal y una casa para usarla como almacén, ya que en el lugar no existen casas aparentes para poder alojar a un número regular de personas. Se tenían las condiciones básicas de saneamiento y fluido eléctrico. La ciudad de Santa Cruz cuenta con los servicios de teléfono e internet.

#### **1.5 EQUIPOS Y MATERIALES**

Los equipos utilizados para la ejecución de los trabajos de perforación diamantina (ver Foto 1.1) en las obras de presa, toma y canal de desvío fueron:

- Perforadora Rotativa Lonyer modelo 38
- Bomba de Agua

- Muestreadores convencionales de doble tubo, simples y Ware line
- Brocas de diamante impregnado en la serie W
- Zapatas diamantadas de diámetro HW y NW.

Para el túnel y casa de maquina se utilizaron los equipos siguientes:

- Perforadora Rotativa Yog modelo 34
- Bomba de Agua
- Muestreadores convencionales de doble tubo, simples y Ware line
- Brocas de diamante impregnado en la serie W
- Zapatas diamantadas de diámetro HW y HW

## **1.6 INFORMACION PREVIA**

Se ha consultado la siguiente información técnica, antes de realizar la evaluación geológica de campo:

- a) Estudio de selección para las Alternativas de desarrollo del proyecto, Central Hidroeléctrica Las Pizarras, Geología – Geotecnia, ABR Ingenieros S.A.C. Febrero 2009
- b) Proyecto Hidroeléctrico Las Pizarras, Informe Final, Estudio de Investigación Geofísica, Método de Refracción Sísmica, ABR Ingenieros S.A.C. Abril 2009
- c) Central Hidroeléctrica Las Pizarras, Aspectos geotécnicos de la Ingeniería Básica del Canal, Ing. A. Gutierrez E. ABR, Mayo 2009.
- d) Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Chancay-Lambayeque, Boletín No 33, Geodinámica e Ingeniería geológica, S. Nuñez, S Villacorta, J Chira, R Rivera, INGEMMET, 2006 Lima – Perú.
- e) Mapa Geomorfológico, INGEMMET, Esc. 1:150000, Zona 17 Sur
- f) Mapa Hidrogeológico, INGEMMET, Esc. 1:150000, Zona 17 Sur

g) Mapa Litológico, INGEMMET, Esc. 1:150000, Zona 17 Sur

h) Mapa de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos, INGEMMET,  
Esc. 1:150000, Zona 17 Sur



**Foto N° 1.1 Equipo de Perforación Lonyer 38**

## **CAPITULO II**

### **GEOLOGÍA**

#### **2.1 GEOMORFOLOGÍA**

El área del proyecto se encuentra situada en las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes, con cumbres y alturas promedio de 2900 m.s.n.m, caracterizada por haber tenido una actividad volcánica intensa, con la deposición de material con espesor variable, que cubren la mayor parte del área de influencia del proyecto.

La formación de los valles se relaciona con un ciclo de erosión juvenil a maduro, con sectores de valles en V, propios de la erosión fluvial y transiciones a valles más amplios, producto de la acción de los hielos; las pendientes de ladera son variables entre fuertes a moderadas. La vegetación natural es escasa y propia de regiones con estas alturas. El clima es templado a cálido en verano y temperaturas cercanas a cero grados centígrados en invierno. La región ha experimentado diversas fases de levantamiento y erosión a través de los tiempos geológicos.

Los principales eventos que han tenido lugar para construir la morfología actual de la región, se pueden resumir de la siguiente manera:

#### **SUPERFICIE PUNA**

La Puna es una llanura con pendientes bajas, que alcanza su desarrollo a fines del Mioceno o a comienzos del Plioceno, seguido del levantamiento Andino.

## **LEVANTAMIENTO ANDINO**

Se considera que el Levantamiento Andino fue abrupto, de algunos centenares de metros en cada etapa, separadas por períodos de estabilidad relativa, las cuales permitieron el desarrollo de las superficies de erosión.

### **SUPERFICIES ENTRE 600 y 1100 m.s.n.m.**

Estas superficies son producto de actividad de erosión de los Andes; en esta zona la Cordillera Occidental esencialmente volcánica, con actividad cuaternaria caracterizada por una fuerte acumulación de sedimentos continentales cenozoicos, están representadas por cumbres y altas planicies en los flancos bajos de la Cordillera Occidental. La superficie de 1100 m.s.n.m. es amplia y tiene un relieve suave, presentándose como lomadas de muchas estribaciones andinas y en las cumbres de los cerros aislados situados más al Oeste. La formación de esta superficie, ha logrado destruir en muchas áreas, la superficie de 2000 m.s.n.m. poniéndose en yuxtaposición con la superficie de 2900 m.s.n.m. que ha desarrollado las grandes escarpas que caracterizan algunos sectores del flanco occidental de Los Andes.



**Foto N° 1.2 Vista general del área del Proyecto desde aguas abajo, se observa el total del área del Proyecto apreciándose la geomorfología del área, los afloramientos de macizo rocoso y el material cuaternario.**

## **2.2 HIDROGEOLOGÍA**

Los principales ríos colectores en el área de influencia del proyecto son el Río Chancay y el Río Cañad, el primero tiene una dirección NE-SO, ha cortado los materiales volcánicos que cubren toda el área del proyecto y recibe en su margen izquierda las quebradas afluentes que drenan las cumbres de la cordillera y cruzan toda el área del proyecto hasta el río Cañad.

Estas quebradas tienen un régimen de torrentera, es decir que solo tienen caudales importantes en temporada de lluvia. Se considera que las quebradas proveen agua de infiltración a niveles inferiores, que deben ser tomados en cuenta en el lineamiento de los túneles y canal de aducción. Por

la margen derecha, el río Chancay recibe afluentes menores, que han excavado quebradas de menor magnitud. Estos afluentes no tienen influencia en el desarrollo de las alternativas.

El otro río importante en el área del proyecto es el río Cañad, que tiene una dirección E-O y confluye con el Chancay en el sector de la casa de máquinas propuesto en el proyecto. Sus quebradas tributarias no tienen influencia en el desarrollo de las alternativas del proyecto, sin embargo, se ha tenido que considerar las crecidas ordinarias y extraordinarias del río Chancay para decidir la cota de emplazamiento de la casa de máquinas y otras obras.

### **2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Los estudios geológicos del Perú, han establecido las siguientes Provincias Estructurales: Provincia Pacasmayo, Provincia Chimú, Provincia Cutervo y la parte central del área de estudio que ha sido denominada Provincia Santa Cruz.

Las estructuras tectónicas que afectan el área de influencia del proyecto, pertenecen a la denominada Provincia Tectónica Santa Cruz, las estructuras se relacionan con eventos ocurridos desde el Paleozoico, culminando con el levantamiento general de la cordillera durante el Terciario Superior-Cuaternario.

Las estructuras tectónicas que predominan en el área del proyecto son el producto del levantamiento general que ha originado la cordillera de Los Andes, los lineamientos de las fallas regionales tienen una dirección general NO-SE.

En el área del proyecto han ocurrido eventos volcánicos, con gran efusión de material, que han cubierto con espesores variables los estratos de rocas sedimentarias o metamórficas que conforman el “núcleo” de los macizos montañosos de la cordillera.

Se presentan estructuras aisladas que corresponden a las distintas fases de la orogénesis andina, la región estuvo tectónicamente neutral durante tales eventos, caracterizándose actualmente por pliegues pequeños o relativamente suaves, con extensas áreas de estratos sub horizontales.

La provincia tectónica Santa Cruz, contiene algunas estructuras, que parecen haberse producido junto con el plegamiento principal de la provincia tectónica Chimú. Los mejores ejemplos son los pliegues pequeños ubicados entre Chongoyape y el límite meridional del cuadrángulo del mismo nombre, los cuales se han desarrollado con rumbos ONO-ESE. Estos plegamientos ocurrieron antes de depositarse las vulcanitas Llama.



Foto N° 2: Vista Panorámica del Área del Proyecto (Vista Aguas Abajo del Río Chancay)  
Se distingue la roca caliza (Formación Chulec) donde se va a fundar la presa, en la margen izquierda del río se aprecia las rocas volcánicas de terciario (Vulcanitas Huambo y Llama) por donde va a pasar el Túnel, cubierto por material Cuaternario.

## **2.4 ESTRATIGRAFÍA**

Se detalla la columna estratigráfica para el área del proyecto. (Ver figura N° 2.2 y foto N° 2.1)

### **2.4.1 CRETACEO**

#### **Formación Chúlec**

La Formación Chúlec está compuesta de calizas de color gris con tonalidad marrón: calizas, margas, calizas nodulares con abundantes fósiles, depositado en un ambiente marino poco profundo, con intercalación de areniscas de color verde clara poco consolidadas de un espesor de 1 m, posiblemente de la Formación Chúlec del Cretáceo Inferior de espesor no definido en la zona.

### **2.4.2 Terciario**

#### **Vulcanitas Huambo (TS – Vh)**

Esta unidad está compuesta por tobas y brechas de composición mayormente ácida, intercaladas con tufos de lapilli. También se pueden encontrar brechas dacíticas, compuestas por bloques grandes de tobas en una matriz tobácea.

El material piroclástico de esta unidad, se encuentra pseudoestratificado de potencias medianos a gruesos, medianamente consolidados. Su espesor en el área del proyecto es irregular entre 50 a 100 m.

### **Vulcanitas Llama (Ti-Vill)**

En la base de las vulcanitas Llamas se observa un conglomerado gris rojizo, compacto y duro, con algunas intercalaciones de tobas andesíticas de color morado o violáceo. Su espesor es variable entre 500 y 1200 m.

## **2.4.1 CENOZOICO – CUATERNARIO RECIENTE**

### **Cubierta Coluvial - Deluvial**

En el área de influencia del proyecto, estos materiales están compuestos principalmente por bolones de cuarcita y conglomerado volcánico de tamaño mediano, gravas de cuarcita y vulcanitas más blandas, arenas y material fino limo arcilloso, formando un depósito inestable, suelto y permeable, sujeto a la erosión y al transporte o acarreo de las aguas de los ríos principales y quebradas. Los depósitos se encuentran principalmente en los ríos Chancay y Cañad con espesores variables, debido al cambio de pendiente de estos ríos en su paso por el área del proyecto. Las quebradas afluentes también presentan esos materiales, aunque en menor cantidad.

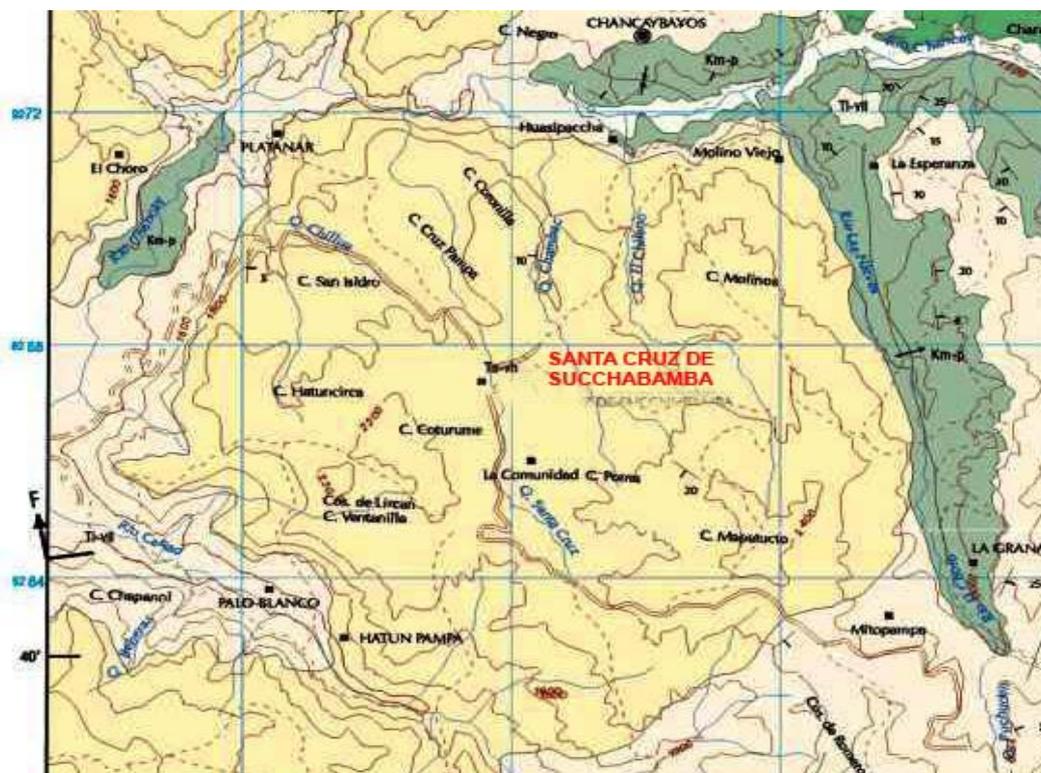
La cubierta coluvial domina gran parte de la superficie del área del proyecto, tienen espesor variable y está constituida por fragmentos de vulcanitas en una masa limo arcillosa, formando un conjunto semi consolidado, medianamente estable, disectado por la erosión hídrica del agua de las quebradas afluentes. Estos materiales han sido originados por procesos de meteorización en la superficie y proveen material fino a los depósitos aluviales

### **Material de Derrumbe y Escombros de Talud**

Está constituido por los materiales producto de los derrumbes ocurridos en el área del proyecto. Estos materiales son sueltos, muy inestables, es material coluvial erosionado, bloques caídos depositados en pie de las laderas y se presentan principalmente en las laderas de pendiente fuerte de los ríos Cañad y Chancay.

### **Suelos Residuales**

Estos suelos son el producto del intemperismo químico y físico de los pseudoestratos de vulcanitas que dominan la zona del proyecto, están constituidos por una masa limo arcillosa, blanquecina, que engloba desde gravas a arenas de gradación media a fina, formando un conjunto poco plástico. Se presenta como un material fino, semi consolidado y medianamente estable, su espesor es variable desde centímetros a metros. Se observan en las márgenes del río Chancay y en la confluencia con el río Cañad.



LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	PISO	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE		Depósitos fluviales eólicos y aluviales Dr-a Dr-fg		
		TERCIARIO	SUPERIOR	Dis. ang. Volc. Huambos	Ts-vh	
	MEDIO		Dis. ang. Volc. Porculla	Tm-vp	Dacita T-ds	
	INFERIOR		Dis. ang. Volc. Llama	Tl-vf		
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Maestrichdiano	Frm. Chota Disc. paral.	KTi-ch	
			Santoniano	Frm. Celendin	Ks-c	
			Conladano			
		MEDIO	Turoniano	Frm. Cajamarca	KTi-c	
			Genomaniano	Gpo. Cullquiñan	Km-q	
				Gpo. Putlacana	Km-p	
			Albiano	Frm. Pariatambo	Km-pa	
		INFERIOR	Aptiano	Frm. Chulec	Km-lal Km-ch Km-l	
				Frm. Inca		
				Disc. paral.		
Barremiano	Frm. Ferrat	Ki-f				
	Hautariviano	Frm. Carhuaz	Ki-c	Ki-g		

Gpc. Goyllayquisepe

Fig. N° 1 Mapa Geológico del Área de Proyecto

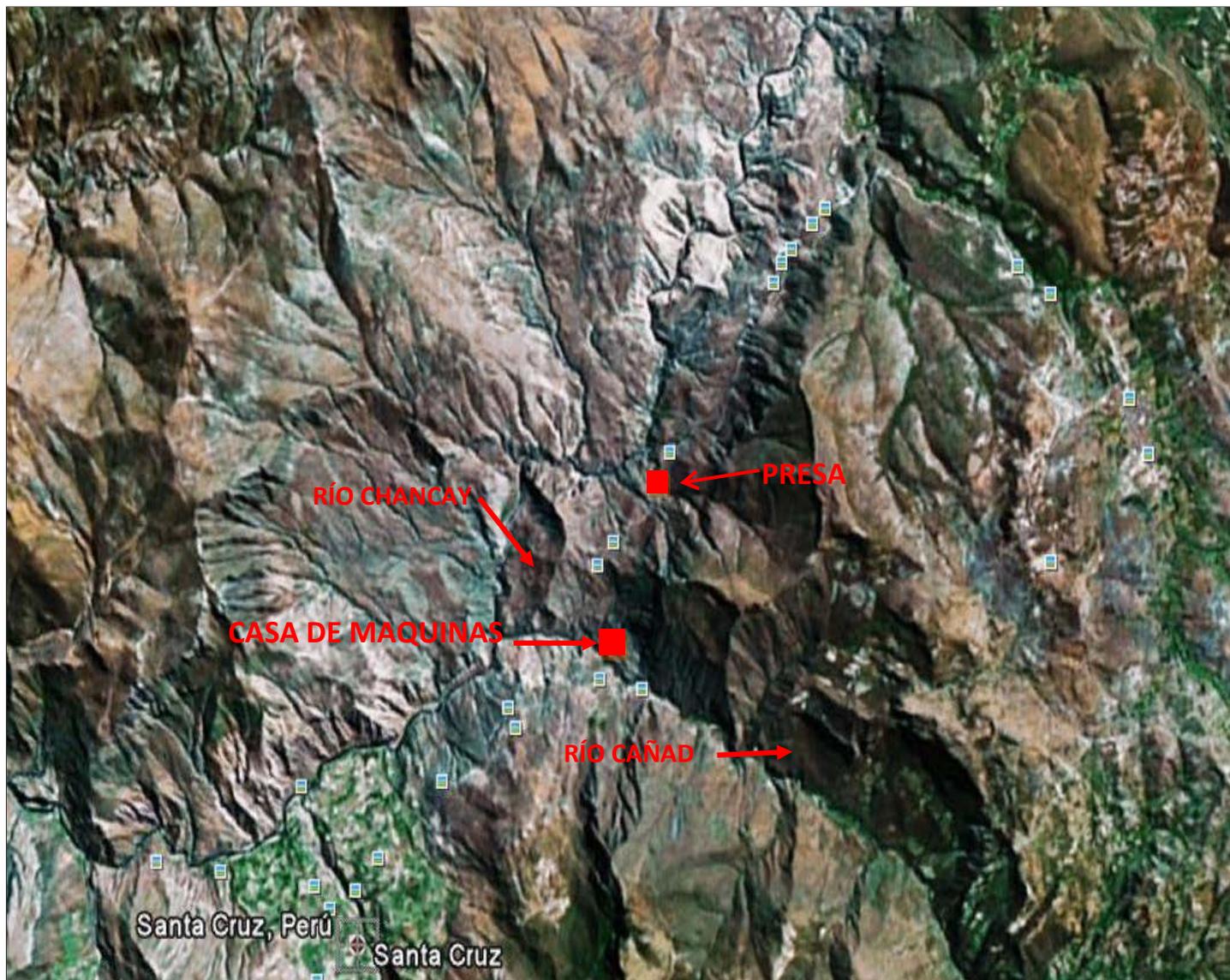


Foto N° 2.1 Imagen Satelital del Área del Proyecto C.H. Las Pizarras

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA**

#### **3-1 GENERALIDADES**

Para la determinación de las características geológicas y geotécnicas del área del proyecto, se han realizado los siguientes trabajos de campo y de gabinete e investigaciones geognósticas:

- Obtención y evaluación de la información técnica existente
- Mapeo geológico – geotécnico
- Recolección de muestras de roca
- Ejecución de 39 sondeos de refracción sísmica (SRS).
- Cuatro calicatas
- Sondajes diamantinos

Realizado todos los trabajos de campo se prepararon los informes correspondientes, determinándose dos unidades geotécnicas:

- ❖ UNIDAD GEOTÉCNICA I (SUELOS)
- ❖ UNIDAD GEOTÉCNICA II (ROCAS)

#### **3.2 UNIDAD GEOTÉCNICA I - SUELOS**

##### **3.2.1 Unidad Geotécnica I-A**

Constituida por depósitos coluviales, que están formados por fragmentos de roca de granulometría gruesa en una matriz limo – arcillosa, compacidad media a alta y representa aproximadamente el 80 % de esta unidad. Cubren parte de las laderas y terrazas, las

densidades varían entre 1.60 a 1.80 gr/cm<sup>3</sup> y la capacidad de carga admisible es mayor a 1 kg /cm<sup>2</sup> a profundidades de 2 m.

### **3.2.2 Unidad Geotécnica I-B**

Son Suelos Residuales, constituidos por transiciones limo arcillosas, arena de gradación gruesa a media y algunos fragmentos de roca, compacidad media a baja, representan aproximadamente el 20% de esta unidad, cubriendo laderas y terrazas. La densidad varía entre 1.40 a 1.60 gr/cm<sup>3</sup> y la capacidad de carga admisible es mayor a 1kg/cm<sup>2</sup>.

## **3.3 UNIDAD GEOTÉCNICA II (ROCAS)**

### **3.3.1 Unidad Geotécnica II-A**

Esta unidad se compone de rocas volcánicas de tipo andesita, toba riolítica y tufos de matriz riolítico. Estas rocas se encuentran fracturadas a profundidad (como evidencian los testigos de perforación) y alteradas en superficie y de mediana a alta resistencia.

Las densidades varían entre 2 a 2.50 gr/cm<sup>3</sup> y la capacidad de carga es mayor a 8 kg/cm<sup>2</sup>.

### **3.3.2 Unidad Geotécnica II-B**

Esta unidad se compone, de calizas cremas a grises, las calizas son nodulares con abundantes fósiles, depositado en un ambiente marino poco profundo con intercalación de areniscas verdosas poco consolidadas de un espesor aproximado de 1 m.

Las densidades varían entre 1.80 a 2.90 gr/cm<sup>2</sup> y la resistencia a la compresión simple varían entre 60 a 190 Mpa.

## **CAPITULO IV ALTERNATIVAS**

En el presente capítulo se presentan 03 alternativas que se describen a continuación.

### **4.1 ALTERNATIVA 1 A**

#### **4.1.1 PRESA 1 Y TOMA**

El Proyecto considera una presa de derivación de concreto armado, los materiales provendrán de la excavación de las fundaciones de las obras anexas al muro de presa, en su mayor parte, y de las canteras próximas a dichas obras.

La presa tendrá una altura máxima de 12 m y su coronación tendrá una longitud de 70 m, un ancho no mayor de 5 m y quedara a la cota de 1177.50 m.s.n.m.

Con los trabajos de campo se determinó que el sector se caracteriza por la presencia principalmente de calizas con intercalaciones de estratos de areniscas de espesor aproximado de 1 m, que pertenecen a la Formación Chúlec del Cretáceo Inferior. En la foto 3.1, se muestra el sitio de presa.

También las calizas están intercaladas con tobas andesíticas, constituyéndose en macizos rocosos duros, de buena competencia, se localizan en la margen derecha y parte de la margen izquierda del río Chancay.

Suprayaciendo a las calizas, se observan vulcanitas piroclásticas de colores claros denominados Tufos de Riolita, que se ubican en el estribo derecho cerca al puente Lipor, estas rocas tienen un diaclasamiento sub-vertical y son de mediana competencia.

La sección topográfica – geológica en el eje de la toma, muestra que la estructura, estará fundada en caliza de buena competencia.



**Foto N° 3.1 Sector de la Presa 1**

#### 4.1.2 CANAL DE ADUCCIÓN

El canal de aducción se ubicaría en el estribo izquierdo de la presa aprovechando la quebrada existente, excavando las calizas e impermeabilizando el piso para evitar infiltraciones. Ver foto 3.2.



**Foto N° 3.2 Entrada del Canal de Aducción  
(Margen izquierda del Río Chancay)**

El lineamiento del canal de aducción de la alternativa 1, tiene una longitud de 1,190 m, y se ubica en la margen izquierda del río Chancay atraviesa unidades geológicas cuyas edades varían del Cretáceo Inferior al Cuaternario reciente. El Cretáceo Inferior está representado por las calizas Chúlec, el Terciario Inferior representado por vulcanitas Llama (Ti-Vill), constituidas por rocas volcánicas, son rocas competentes.

El Cuaternario Reciente está representado por depósitos coluviales, cuyo espesor es variable aumentando hacia el Sur, estos son erosionados por las aguas que discurren por algunas quebradas afluentes del río Chancay.

Los cortes de terreno para la excavación de la plataforma del canal, podrán tener una pendiente de 5V:2H a 7V:1H para las rocas volcánicas (Andesitas, Tobas, Tufos riolíticos) y 3V:2H para la cubierta cuaternaria.

De acuerdo al tipo de material que será excavado para la plataforma del canal de aducción, se ha dividido en tramos con características similares, que se muestran en la tabla N° 3.1.

Progresiva Inicial	Progresiva Final	Espesor material cubierta superior (m)	Espesor material cubierta en talud (m)	Material de corte Cubierta	Material de corte Roca	Revestimiento canal en Paredes	Revestimiento canal en Solera	Recomendaciones
0+000	0+100							Canal Descubierta
0+100	0+150	4	4	3V : 2H	5V : 2H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	
0+150	0+170	1	1	3V : 2H	5V : 2H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	Cubrir canal con tapas en el 100 % de longitud
0+170	0+270	10	Roca expuesta	3V : 2H	7V : 1H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	Proteger talud de corte, con malla y Ho Lanzado
0+270	0+480	2	2	3V : 2H	5V : 2H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	
0+480	0+540	1	1	3V : 2H	7V : 1H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	Proteger talud de corte, con malla u Ho Lanzado
0+540	0+720	4	2	3V : 2H	5V : 2H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	
0+720	0+900	6	2	3V : 2H	7V : 1H	Ho Lanzado	Ho Ciclópeo	
0+900	1+190	15	15	3V : 2H		Ho Ciclópeo	Ho Ciclópeo	

Ho= Hormigón

**Tabla Nº 3.1 Canal Alternativa 1a**

### 4.1.3 TÚNEL DE ADUCCION

El túnel tendrá una longitud de 1190 m y se ubica en la margen izquierda del Río Chancay, la sección transversal será de tipo herradura de fondo plano, su altura interior de 5 m, la sección será revestida con hormigón ciclope proyectado como sostenimiento en toda su longitud.

El túnel atravesará las rocas constituidas por las unidades Llama y Huambo (Ts-Vh) de origen volcánico, con pseudoestratos de buzamientos promedio de 20° a 30° hacia el NO, que suprayacen a las calizas.

Estos pseudoestratos están cubiertos por depósitos coluviales inconsolidados con espesores variables y suelos residuales.



**Foto N° 3.3 Sector del portal de entrada al túnel**

Las diferentes rocas por las que atravesará el túnel se muestran en la foto N° 3.3, se realizó la clasificación geomecánica del macizo rocoso de Z.T. Bieniawski, estableciéndose los porcentajes de cada clase de roca como sigue:

Clase I	0 m	
Clase II	1163m	83.43 %
Clase III	60 m	4.3 %
Clase IV	171 m	12.27 %
Clase V	0 m	

El sostenimiento preliminar para el túnel de acuerdo a las recomendaciones de Bieniawski, se muestra en la tabla 3.2. Las recomendaciones de Bieniawski (versión 1989, que no han sido modificadas hasta la fecha).

**Excavación:** Partición de la sección, longitud de pase y tiempo y distancia de construcción del sostenimiento

**Perno:** Situación, longitud, espaciamiento y uso de mallazo

**Hormigón Lanzado:** Situación y espesores

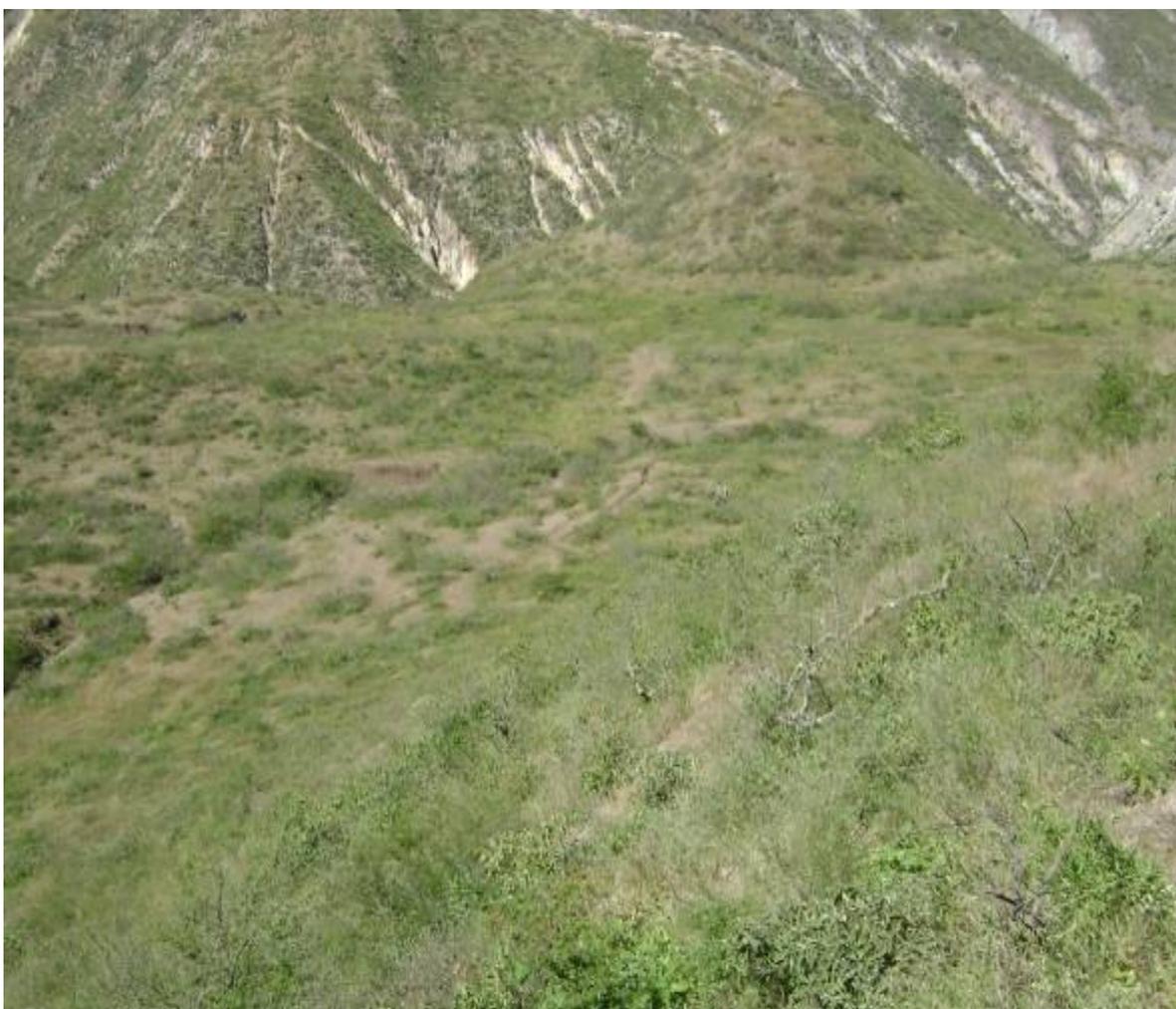
**Cerchas metálicas:** Requerimiento, tipo y espaciamiento. Necesidad de forros, paraguas y contrabóvedas.

CLASE	RMR	EXCAVACIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			Pernos (Longitud en m)	Hormigón lanzado	Cerchas Metálicas
I Muy Buena	81-100	Sección Completa Avances (3 m)	Innecesarios	No	No
II Buena	61-80	Sección completa Avances 1-1.5 m	Pernos de 2-3 Separación 2-.5 Eventualmente con malla	5 cm en la bóveda	No
III Media	41-60	Avance y destroza Avances de 1-3 m completar Sostenimiento a 20 m del frente	Empernado sistemático Pernos de 3 separación 1.5-2 en la bóveda y hastiales Malla en la bóveda si es necesario	5-10 cm en la bóveda 3 cm en hastiales	No
IV Mala	21-40	Avance y destroza Avances de 1-1.5m Sostenimiento inmediato del frente completar sostenimiento a menos de 10 m del frente	Empernado sistemático de 4-5 m con separación de 1-1.5 m en la bóveda Hastiales con malla	10-15 cm en la bóveda 10 cm en los hastiales Aplicación según avanza la excavación	Cerchas ligeras, espaciadas 1.5 m cuando se requieran
V Muy Mala	1-20	Fases múltiples. Avances de 0.5-1m Gunitar el frente inmediatamente	Empernado sistemático 3-4 Con separaciones de 1-1.5 en la bóveda. Hastiales con malla	15-20 cm en la bóveda 15 cm en hastiales 5 cm en el frente si es necesario. Aplicación inmediata después de cada Avance	Cerchas pesadas separadas 0.75 cm, con chapas o marchavantis en la bóveda. Contener posible presión en la solera.

**Tabla Nº 3.2 Recomendaciones Indicativas para la excavación y sostenimientos de Túneles, Excavados en Roca ( Bieniawski 1989)**

#### **4.1.4 CÁMARA DE CARGA**

El sector donde se ubicará la cámara de carga está cubierto por depósitos de tipo coluvial y suelos residuales de espesores variados. La estructura será excavada probablemente en su totalidad en estos materiales.



**Foto N° 3.4 Sector de la Cámara de Carga y Tubería Forzada**

#### 4.1.5 TUBERÍA DE PRESIÓN

Para esta tubería se ha considerado tres tramos:

El primer tramo de tubería recorre desde la cámara de carga un terreno de pendiente suave sin mayores problemas de erosión exceptuando las pequeñas cárcavas que se observan en las cercanías, las cuales deben ser controladas, por medio de revestimientos o disipadores ubicados adecuadamente. Los apoyos y anclajes para la tubería en este primer tramo, se fundaran sobre materiales coluviales o suelo residual.

El segundo tramo atravesará el afloramiento rocoso por medio de un túnel, que tendrá una sección aproximada de 3.50 x 3.50 m. Este túnel tiene una longitud aproximada de 200 m y será excavado en pseudoestratos de vulcanitas medianamente duras, pertenecientes a la unidad Huambo.

De acuerdo con los parámetros de Bieniawski, estas vulcanitas pueden ser clasificadas como clase II y los últimos 10 m en ambos portales como clase IV. Los sostenimientos necesarios han sido presentados en el cuadro N° 3.2.

El tercer tramo de tubería comprende la bajada por la ladera del río Cañad, cruce del río y entrada a la casa máquinas. Los apoyos y anclajes en la ladera, se apoyaran en pseudoestratos de potencia mediana (1 m) de vulcanitas de la unidad Huambo (tobas y brechas de composición ácida).

Los estribos de la estructura del puente, que sostendrá la tubería para cruzar el Río Cañad, se fundaran en rocas volcánicas principalmente constituidas por andesita.

El último tramo de entrada a la casa de máquinas, se apoyará sobre suelo residual semi consolidado, medianamente competente.

#### 4.1.6 CASA DE MÁQUINAS



**Foto N° 3.5 Confluencia de los ríos Chancay y Cañad, Área de la Casa de Máquinas en la margen izquierda del Río Cañad.**

La casa de máquinas y sub estación, están ubicadas en el área formada por la confluencia de los ríos Chancay y Cañad (margen izquierda de ambos ríos) ambas construcciones requerirán excavaciones de diferente profundidad, que se realizarán en suelo residual y podrán ser fundadas en

vulcanitas de la unidad Huambo, constituida por pseudoestratos de tobas medianamente competentes.

Los cortes de estas excavaciones podrán tener una pendiente de 5V:2H en las vulcanitas y 3V:2H en los suelos residuales.

En la elaboración del proyecto se considera otra alternativa de la casa de máquinas con la ubicación en la margen derecha del río Cañad y antes de su confluencia con el Río Chancay. En esta zona se presenta una cobertura de suelo residual con una potencia estimada en dos metros, roca meteorizada subyacente a ésta, con una potencia estimada en tres metros y por debajo vulcanitas medianamente competentes.

## **4.2 ALTERNATIVA 1B**

En esta alternativa la ubicación de todas las obras es la misma que la alternativa 1A, con la diferencia que el tramo del canal aductor de 150 a 200 m la conducción de agua será por una tubería hasta conectar con el túnel aductor.

## **4.3 ALTERNATIVA 2**

### **4.3.1 PRESA 1 DE DERIVACIÓN Y TOMA**

Esta alternativa cuenta con las mismas obras de captación de la alternativa 1, vale decir presa de derivación, toma, desgravador, ubicados en el mismo sitio que se describe en la alternativa 1.

Por tanto las características geológicas-geotecnicas descritas en la alternativa 1, son validas para la presente alternativa, mencionadas en lo acápite 4.1.4 y 4.1.5

En esta alternativa la diferencia se encuentra en la longitud y dirección del Túnel Aductor que se detalla en el siguiente acápite.

#### **4.3.2 TÚNEL DE ADUCCION**

El lineamiento de túnel de la alternativa 2, tiene en los primeros 110 m una dirección S 64.20° E, el segundo tramo de 360 m tiene dirección S 15.16° E y el tercer tramo de 2285 m tiene dirección N 55.51°E, la longitud total del túnel es de 2755 m.

Por la proximidad del emplazamiento del túnel de la alternativa 2 al canal aductor y al túnel de la alternativa 1, se infiere que tienen las mismas condiciones geológicas, es decir, se observa una cobertura de tipo coluvial y en partes de suelos residuales de espesor variable, que dificulta el reconocimiento del basamento rocoso del lugar.

La descripción de las características geológicas del lineamiento del túnel, que se muestran en la foto N° 3.3, incluyen una clasificación de este macizo de acuerdo a los parámetros indicados por Z.T. Bieniawski.

Las calidades de roca se distribuyen de la siguiente manera:

Clase I	0 m	
Clase II	2288 m	83.0 %
Clase III	167 m	6.1 %
Clase IV	300 m	10.9 %
Clase V	0 mt	

El tipo de sostenimiento primario que debe ser utilizado en el túnel, dependerá de la calidad de roca.

### **4.3.3 CÁMARA DE CARGA – TUBERÍA FORZADA – CASA DE MÁQUINAS.**

El túnel de la alternativa 2 se une a la cámara de carga en el mismo lugar donde llegará el túnel de la alternativa 1, las características geológicas de estos sectores hasta la casa de máquinas, son las mismas que en la alternativa 1.

## **4.4 ALTERNATIVA 3**

Esta alternativa se desarrolla con una presa de regulación y toma en el Río Chancay ubicados 500 metros aguas abajo del sitio de presa de la alternativa 1, la aducción será íntegramente por túnel hasta la chimenea de equilibrio ubicada en la margen derecha del río Cañad. A partir de la chimenea de equilibrio, la aducción continúa por medio de la tubería forzada emplazada en el talud de la margen derecha del río Cañad y cruza el río del mismo nombre por medio de una estructura metálica hasta llegar a la casa de máquinas.

### **4.4.1 PRESA 3 y TOMA**

Estas estructuras, se ubicaran aproximadamente 500 m aguas abajo de la presa para la alternativa 1 (Sitio 1), a una elevación de aproximadamente 1160 m.s.n.m, por lo que las condiciones geológicas tienen algunas variaciones.

El valle del río Chancay en este sector es más cerrado y presenta en la margen derecha laderas empinadas, cubierta coluvial delgada sobre los pseudoestratos de las vulcanitas de la unidad Huambo, compuesta por tobas y brechas ácidas, que se asientan sobre el conglomerado volcánico Llama.

En el centro del valle, debido a la pendiente del río en estos tramos, el espesor de los depósitos aluviales no debe sobrepasar los 5 m.

En la margen izquierda, se construirá la toma, desarenador e ingreso al túnel de aducción, la derivación de las aguas en todas las alternativas serán por medio de una presa, la ladera está compuesta por una cubierta coluvial y suelos residuales de espesor variable de 3 a 12 m en las partes altas, cubriendo posiblemente masas del conglomerado volcánico Llama de buena calidad para fundación de la estructura de la presa.

Para la construcción de la toma, se ha previsto la excavación de una parte de la ladera de manera que es muy probable que estas estructuras se asienten sobre vulcanitas Huambo o conglomerados volcánicos resistentes.

#### **4.4.2 TÚNEL DE ADUCCION**

El túnel se inicia en la toma ubicada en la margen izquierda del río y tiene una longitud aproximada de 2500 m. La investigación geofísica comprendió sondeos de refracción sísmica, ejecutados por ABR S.R.L. que llevan la denominación: SRS 8, SRS 9, SRS 12, SRS 13, SRS 15, SRS 16, SRS 19, SRS 24 y SRS 25. (Ver tabla 3.3).

Tomando en cuenta los resultados de estas investigaciones, se ha podido determinar los siguientes espesores promedio de horizontes, a lo largo del lineamiento del túnel.

<b>HORIZONTE</b>	<b>VP m/s</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>ZONIFICACIÓN</b>
1	200-500	0-6	Cubierta Cuaternaria Inconsolidada
2	500-800	6-12	Transición de Cobertura
3	800-300	12-24	Horizonte de Roca Meteorizada
4	1300-2000	24>	Basamento Rocoso

**Tabla N° 3.3 Datos Estadísticos**

En base a estos datos, se puede inferir que con excepción de las estructuras situadas a la entrada del túnel, donde la cubierta y la roca meteorizada tienen un espesor menor, el túnel será excavado casi en su totalidad en el basamento rocoso de la zona, es decir en las tobas Huambo o en el conglomerado volcánico Llama de buena calidad.

Con relación a la clasificación del macizo rocoso para este túnel, con los parámetros de Bieniawski, se ha determinado lo siguiente:

Clase I	0 m	
Clase II	1955 m	78.2 %
Clase III	380 m	15.2 %
Clase IV	165 m	6.6 %
Clase V	0 m	

#### **4.4.3 CHIMENEA DE EQUILIBRIO**

La chimenea de equilibrio se ubicará en las coordenadas N 9265550.338 y E 719902.434, en la cota 117.208 m.s.n.m.

Esta estructura será excavada en basamento rocoso y vulcanitas blandas o fracturadas cerca de la superficie, debiéndose tomar en cuenta el sostenimiento preliminar adecuado.

#### **4.4.4 TUBERÍA FORZADA**

Los apoyos y anclajes de la tubería se fundaran en estratos blandos de las tobas y brechas de composición ácida, que son las mismas rocas mencionadas para las alternativas 1 y 2.

#### **4.4.5 CASA DE MÁQUINAS**

La casa de máquinas ocupa el mismo lugar descrito para la alternativa 1, por tanto, las características geológicas mencionadas en el párrafo de la alternativa 1 son las mismas.

Las fundaciones de la casa de máquinas se realizaran en materiales residuales y en rocas del tipo tobas o tufos de riolíticos, para las cuales se ha establecido los siguientes valores de capacidad de carga:

Suelos residuales – cubierta coluvial  $>1\text{kg/cm}^2$

Vulcanitas Huambo (Tobas y Brechas)  $>8\text{kg/cm}^2$

Calizas Chulec  $> 40\text{ MPa}$ .

## **CAPITULO V**

### **PERFORACIONES DIAMANTINAS**

#### **5.1 GENERALIDADES**

Las perforaciones fueron ejecutadas por método rotativo con recuperación continua de testigos, usando corona diamantada y de wide, se utilizo agua limpia como fluido de refrigeración, siguiendo las normas de Diamond Core Drilling Manufacture Asociation (D.C.D.M.A.).

A través de los sondajes se investigaron las propiedades físico – mecánicas de los suelos que interesan para los fines de los emplazamientos de las obras proyectadas para determinar el comportamiento que puedan presentar durante la ejecución de las mismas.

Durante el desarrollo de los trabajos se utilizaron sacamuestras de doble tubo giratorio de la serie M, en sondajes que alcanzaron el macizo rocoso se empleo el sistema Ware Line. Estos muestreadores de doble tubo giratorio, poseen un tubo interior acoplado a un dispositivo de rodamientos que permite el movimiento giratorio, anulando de esta manera los esfuerzos de torsión sobre la muestra. El tubo interior es ajustable en la parte superior, permitiendo el acondicionamiento de su extremo inferior y la regulación de la salida de agua, así como regula o evita que el agua inyectada como fluido de enfriamiento haga contacto con el material perforado, aspecto importante en la recuperación de muestras. El flujo de agua es longitudinal en el espacio anular entre el tubo interno y externo. De esta manera el contacto del agua y la muestra es nulo, permitiendo una mejor recuperación del material suelto o

de roca extremadamente alterada. La longitud de las sacamuestras utilizados fue de 1.50 m (5 pies). El tipo de broca fue seleccionado en función de las características de cada pseudoestrato perforado.

Con la finalidad de obtener la máxima recuperación posible de testigos y de mayor representatividad, se aplican criterios técnicos que se mencionan a continuación:

- El ritmo de penetración no debe ser superior a la velocidad del corte del tubo exterior, es decir la presión debe ser mínima.
- La velocidad de rotación alcanzada estuvo en función de las características del material, evitando fracturamiento o trituración.
- La longitud de corrida siempre debe ser igual o menor que la longitud del muestreador, evitando en lo posible que la muestra sea compresionada.

Según las especificaciones técnicas, el diámetro mínimo final del sondeo en roca fue N; teniendo en consideración condiciones, tales como el espesor del material suelto y/o roca meteorizada o fracturada, además de la profundidad proyectada, se determinó el diámetro inicial del sondeo, en previsión también de los diferentes diámetros del revestimiento a utilizarse en forma telescópica en los que se menciona PW, NW y NW. La finalidad de usar revestimientos es evitar el derrumbe de las paredes del sondeo para facilitar la profundización del mismo, así como aislar tramos para la ejecución de ensayo de permeabilidad.

El flujo de agua durante la perforación del sondeo debe tener la presión necesaria, que garantice la salida y expulsión al exterior de las partículas y sedimento durante la perforación, manteniendo siempre limpio el sondeo.

Una vez concluida la perforación se procedió a retirar el total del revestimiento colocado en el sondeo.



**Foto N° 5.1 Iniciando el traslado del equipo de perforación a los sondeos: SD1, SD2 Y SD3**



**Foto N° 5.2 Equipo de perforación: Máquina de Perforación, bomba y tubo de perforación HQ (7.6 cm de diámetro)**

## **5.2 PLANEAMIENTO DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA**

### **5.2.1 Programación de los Sondeos**

En un proyecto de ingeniería las investigaciones geognósticas de sondeos diamantinos se ejecutan con las siguientes consideraciones:

Número y ubicación de sondeos, profundidad y orientación.

- **Número y Ubicación de sondeos**

El número y ubicación de los sondeos parten básicamente del conocimiento previo de las condiciones geológicas del sitio, obtenidas por métodos indirectos y levantamientos geológicos de superficie, prestando especial atención a las áreas complejas que se registren en el lugar. El número de sondeos también dependerá del nivel del estudio (pre-factibilidad, factibilidad, etc.) y de las características y funciones de la obra proyectada.

- **Profundidad de los Sondeos**

La profundidad dependerá de las funciones y tipo de la obra proyectada y de las condiciones geológicas subterráneas del área estudiada. Por ejemplo en el caso de túneles será deseable alcanzar por lo menos el nivel de la rasante.

Cuando el propósito es investigar el comportamiento del material rocoso ante una demanda de carga, la perforación deberá llegar hasta una profundidad una y media vez el ancho de la superficie cargada, profundidad en la cual los esfuerzos normales netos inducidos son del orden del décimo de la sobrecarga impuesta. Si la superficie de carga es irregular, es necesario determinar la distribución de los

incrementos de los esfuerzos verticales inducidos por la sobrecarga a lo largo de una vertical que pase por el centro del área cargada.

Si el objetivo es investigar la permeabilidad aparente del macizo rocoso, particularmente en presas, las perforaciones deberán alcanzar profundidades en que el valor lugeon sea lo suficientemente bajo (1 lugeon para presas de 30 m), o bien hasta que la perforación haya penetrado por lo menos 5 m en roca fresca y mínimamente fracturada.

- Orientación de los Sondeos

La orientación de un sondeo queda definida por la dirección e inclinación de la perforación. La inclinación está referida generalmente a un plano horizontal. La elección de la dirección de los sondeos dependerá de los objetivos que motivan a la exploración geotécnica, en muchos casos será determinante para la economía en metrado, y consecuentemente reducción de costos.

Cuando el propósito es investigar a un macizo rocoso en la que se ejecutarán inyecciones de impermeabilización y/o “consolidación” es conveniente que previamente se determinen la orientación de los sistemas de discontinuidades que lo afectan, mediante evaluaciones estadísticas con datos obtenidos en superficie. Se programaron sondeos perpendiculares a los principales sistemas de discontinuidades, interceptando el mayor número de fisuras por longitud de perforación.

También se programan sondeos orientados cuando se desean investigar fallas a una profundidad determinada, con el menor metrado de perforación.

Para túneles, es conveniente que se ejecuten sondeos horizontales en los sitios previstos para los portales, siguiendo la dirección del trazo, más aún si el encampane es de cientos de metros, así se tendrá información directa del estado del macizo rocoso desde los primeros metros.

### **5.2.2 Manipulación de Testigos**

Los testigos que se obtienen de la perforación, son colocados en cajas de madera preparadas para tal fin, convenientemente identificado con el nombre del proyecto, número de sondeo, intervalo de perforación, etc. El interior está dividido en canales limitados por tabiques de madera, cuyos anchos corresponden al diámetro de las muestras a colocar. Las muestras de cada tramo perforado son separadas con tacos de madera donde se anotan la profundidad a las que corresponden.

Es importante que la manipulación de las muestras, tanto al ser extraídas de los muestreadores, ser colocadas en las cajas de madera y trasladadas al almacén, se realice con máximo cuidado para evitar la disturbancia de éstas. El almacenamiento deberá hacerse en ambientes con un mínimo de contenido de humedad.

Un archivo fotográfico de las cajas con las muestras dará una buena información de los testigos, sobre todo, después de tiempo, cuando las

muestras ya se hayan deteriorado, o cuando no se disponga en el momento de las cajas con las muestras.

### 5.2.3 Registro de perforación

El registro de perforación es un formato adecuado para las anotaciones de las características de la perforación, informaciones obtenidas a partir de los testigos y los resultados de los ensayos ejecutados.

### 5.2.4 Recuperación de Muestra y RQD

La recuperación de la muestra se representa en porcentaje, siendo una relación porcentual entre la longitud (LONG) de la muestra recuperada respecto a la longitud del tramo perforado.

$$RECUPERACIÓN DE MUESTRA(\%) = \frac{\sum \text{Longitudes de Muestra Recuperada}}{\text{Longitud Total de Corrida}} \times 100$$

El RQD (Rock Quality Designation), es una medida del grado de fracturamiento del macizo rocoso, propuesta por Deere, D. (1964), que se expresa como la relación porcentual de la sumatoria de los testigos carentes de discontinuidades naturales mayores de 10 cm, y la longitud del tramo perforado; en el registro de perforación se representa también gráficamente, diferenciándolo de la Recuperación de Muestra, con un achurado diferente.

$$RQD(\%) = \frac{\sum \text{Longitudes de Testigos sin Discontinuidades} > 100\text{mm}}{\text{Longitud Total de Corrida}} \times 100$$

De acuerdo al RQD, un macizo rocoso es calificado de la siguiente manera, en función del grado de fracturamiento.

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

**Tabla N° 4.1 Calidad de Roca**

### 5.2.5 Perfil Geológico

En esta parte del formato se representa gráficamente los testigos de perforación obtenidos, diferenciándose los tipos de litologías cuyos significados son indicados al pie del formato. Se representan las estructuras, tales como fracturas, fallas, estratificación, contactos litológicos, y otras características geológicas de interés.

### 5.2.6 Descripción de testigos

Para la descripción de los testigos de perforación es necesario definir tramos que tengan características homogéneas; anotándose el tipo de litología, color, textura, composición mineralógica (macroscópica), grado de meteorización, etc.

Los tipos de discontinuidades geológicas deberán diferenciarse, y se describirán las características físicas de las discontinuidades tales como: abertura, tipo de material de relleno, rugosidad de las paredes, inclinación respecto al eje de perforación. La información que se consigne deberá ser concisa y clara.

### 5.2.7 Parámetros de Roca

Los aspectos que se consideran en esta parte del registro corresponden al grado de fracturamiento, grado de meteorización y grado de dureza (resistencia) de la roca, referidos con signos convencionales cuyos significados están comprendidos dentro de las recomendaciones de ISRM (International Society of Rock Mechanics) para la descripción del macizo rocoso ( tablas N° 4.2, 4.3 y 4.4)

GRADO	ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (m)	CALIFICACIÓN
F - 1	>2.00	Masivo
F - 2	0.60 - 2.00	Poco Fracturado
F - 3	0.20 - 0.60	Fracturado
F - 4	0.06 - 0.20	Muy Fracturado
F - 5	<0.06	Triturado

**Tabla N° 4.2 GRADO DE FRACTURAMIENTO DE LA ROCA (ISRM, 1978)**

GRADO	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
M - 1	No se ven signos de meteorización del material rocoso, tal vez ligera decoloración sobre la superficie de las discontinuidades	Fresca ( sana )
M - 2	La decoloración indica meteorización del material rocoso y de la superficie de las discontinuidades. Todo el material rocoso puede estar descolorido por meteorización y puede ser algo más débil externamente que en su condición fresca	Ligeramente meteorizada
M - 3	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. Roca fresca o descolorida está presente aún, como un esqueleto continuo o como núcleos de roca	Moderadamente Meteorizada
M - 4	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. Roca fresca o descolorida está presente aún, formando un esqueleto discontinuo o como núcleo de roca	Intensamente Meteorizada
M - 5	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original del macizo es aún en gran parte reconocible	Completamente Meteorizada

**Tabla N° 4.3 Grado de Meteorización de la Roca (ISRM, 1980)**

GRADO	CLASIFICACIÓN	IDENTIFICACIÓN	RANGO DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN UNIAXIAL (MPa)
D - 0	Roca extremadamente débil	El espécimen es indentado por la uña del dedo pulgar	0.25 – 1.0
D - 1	Roca muy débil	Se desmorona con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede ser descarillado con un cuchillo de bolsillo.	1.0 – 5.0
D - 2	Roca débil	Se descarilla con dificultad con un cuchillo de bolsillo. Indentado poco profundo con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo.	5.0 – 25.0
D - 3	Roca moderadamente resistente	No se puede raspar o descarillar con un cuchillo de bolsillo. El espécimen puede ser fracturado con un solo golpe firme de martillo.	25.0 – 50.0
D - 4	Roca resistente	El espécimen requiere más de un golpe de martillo para ser fracturado	50.0 – 100.0
D - 5	Roca muy resistente	El espécimen es fracturado con muchos golpes de martillo.	100.0 – 250.0
D - 6	Roca extremadamente resistente	El martillo produce solamente descarillado de la muestra. Sonido metálico del golpe.	>250.0

**Tabla N° 4.4 Grado de Dureza de la Roca (ISRM, 1978)**

### 5.3 TALADROS REALIZADOS

#### 5.3.1 Presa, Toma y Canal de Desvío

En el eje de presa proyectado en el río Chancay se ejecutaron siete perforaciones con recuperación continua de muestras, para determinar la potencia del material de sobrecarga y definir la profundidad del macizo rocoso. Se perforaron en total 237.70 m.

Se hicieron tres sondajes en la margen derecha: dos perforaciones en posición inclinada, una orientada hacia el río y la otra hacia el talud y una vertical en la margen.

Se ejecutaron cuatro sondajes en la margen izquierda: tres en posición inclinada, una en dirección del lecho del río y dos orientadas hacia el talud y uno vertical en esta margen. Ver resumen en cuadro 5.1

**Cuadro N° 5.1**

UBICACIÓN	SONDAJE	ORIENTACION	PROFUNDIDAD	CONTACTO: SUELO/ROCA
<b>PRESA</b>	SD1	40°	32.20 m	13.40 m
	SD2	vertical	30.20 m	1.50 m
	SD3	40°	30.30 m	2.65 m
	SD4	Vertical	25.00 m	1.55 m
	SD5	40°	30.30 m	1.60 m
<b>TOMA Y CANAL DE DESVIO</b>	SD6	Vertical	25.00 m	4.45 m
	SD7	40°	60.20 m	5.20 m

#### 5.3.2 Túnel

Se ejecutaron dos sondeos verticales con recuperación continua de muestras para definir la potencia del material de sobrecarga, y la profundidad del macizo rocoso; el sondeo SD8 de 25 m y el sondeo SD9 de

30 m, que dan un total de 55 m, no se alcanzo al basamento rocoso. Ver cuadro resumen 5.2.

**Cuadro N° 5.2**

UBICACIÓN	SONDEO	ORIENTACION	PROFUNDIDAD	CONTACTO: SUELO/ROCA
TUNEL	SD8	Vertical	25.00 m	NO ALCANZO
	SD9	Vertical	30.00 m	NO ALCANZO

### 5.3.3 Chimenea de equilibrio

Se efectuó el sondeo SD 10 de 50.15 m de perforación con recuperación continua de muestras, netamente en roca, para determinar las características del macizo rocoso. Ver cuadro 5.3.

**Cuadro N° 5.3**

UBICACIÓN	SONDEO	ORIENTACION	PROFUNDIDAD	CONTACTO: SUELO/ROCA
CH DE EQUILIBRIO	SD10	Vertical	50.15 m	0.00 m

### 5.3.4 Casa de Máquinas

- ALTERNATIVA A

Se realizo el sondeo SD12 de 41.10 m con recuperación continúa de muestras de posición vertical, para determinar la profundidad del basamento del macizo rocoso. Ver cuadro 5.4.

**Cuadro N° 5.4**

UBICACIÓN	SONDEO	ORIENTACION	PROFUNDIDAD	CONTACTO: SUELO/ROCA
ALTERNATIVA A	SD12	Vertical	41.10 m	37.70 m

- ALTERNATIVA B

Se realizo el sondeo SD11 de 30.10 m de perforación con recuperación continua de muestras de posición inclinada de 50° con dirección al macizo rocoso. Ver cuadro N° 5.5.

**Cuadro N° 5.5**

UBICACIÓN	SONDEO	ORIENTACION	PROFUNDIDAD	CONTACTO: SUELO/ROCA
ALTERNATIVA B	SD11	Vertical	30.10 m	0.00 m

#### 5.4 EXCAVACIONES MANUALES (calicatas)

Con la finalidad de tener mayor información del subsuelo se excavaron seis calicatas (CAL), el metrado ejecutado fue de 20.55 m. La excavación se realizó manualmente, usando pico, barreta, lampa y balde para la extracción de material. La existencia de grandes bloques y el buen grado de compactación del suelo imposibilitó la profundización de las calicatas.

El muestreo fue ejecutado por personal entrenado y las muestras empacadas cuidadosamente se enviaron al laboratorio de Mecánica de Suelos, para ensayos y clasificación de suelos.

Seguidamente se detallan la ubicación de las calicatas:

- ❖ En las inmediaciones del eje de presa proyectado se hicieron dos calicatas, una en la margen derecha CAL1 (3.00 m) y la otra en la margen izquierda CAL2 (4.75 m) del Río Chancay.
- ❖ Se hizo una calicata en la zona proyectada de la tubería forzada CAL3 (3 m)
- ❖ Se hizo una calicata en el río Cañad margen derecha, debajo del sondeo SD12, CAL4 (2.30 m)
- ❖ Se hizo una calicata en el Río Cañad margen izquierda CAL5 (3.30 m) alineada a calicata CAL4 y al sondeo SD12.
- ❖ Se hizo una calicata en la Casa de máquinas a 20 m debajo del sondeo SD11, CAL6 (4.20 m).

En el cuadro N° 5.6 se resumen las labores de excavación ejecutadas y la relación de las muestras alteradas obtenidas.

Cuadro N° 5.6

CALICATA	CAL1	CAL2	CAL3	CAL4	CAL5	CAL6
MUESTRA	UNICA	UNICA	UNICA	UNICA	UNICA	UNICA
PROF. (m)	3.00	4.75	3.00	2.30	3.30	4.20
PASA MALLA 4	78.50	47.4	83.30	55.00	67.40	69.80
CONTENIDO HUMEDAD %	2.30	2.30	2.10	4.80	7.10	4.70
LIMITE LIQUIDO %	34.10	19.00	31.00	25.90	30.5	27.80
INDICE PLASTICO %	7.10	NP	7.20	NP	NP	NP
CLASIFICACION SUCS	SM	GW - GM	SM	GM	SM	SM
CLASIFICACION AASHATO	A 4 - (0)	A - 1 a (0)	A 4 - (1)	A -2 - 4(0)	A -1 - b(0)	A -1 - b(1)

## **CAPITULO VI**

### **ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**

#### **6.1 GENERALIDADES**

Como parte de las investigaciones Geognósticas se ejecutaron ensayos tipo Lugeon y Lefranc, dependiendo de su aplicación, del tipo de material y de sus características geomecánicas.

Con el fin de conocer el tratamiento adecuado que debe darse a la zona de cimentación es indispensable el conocimiento completo de las características de resistencia e hidrogeológicas de las unidades atravesadas.

La permeabilidad es la propiedad por la cual un sólido permite el paso de un fluido a través de él. Para este caso, el sólido está formado por el terreno, y el fluido usado generalmente es agua, cuyo flujo se forma a consecuencia de un gradiente de presión entre dos puntos o zonas.

La permeabilidad de materiales granulares de muestras inalteradas, puede determinarse en el laboratorio, pero la permeabilidad a través de agrietamientos o fisuras en roca o arcilla se determina in-situ.

Los ensayos de permeabilidad se ejecutaron conforme se avanzaba en los sondeos.

#### **6.2 ENSAYO LUGEON**

Esta prueba se realiza normalmente en tramos del macizo rocoso, con la finalidad de conocer la permeabilidad aparente y el comportamiento que

tenga ante las presiones hidráulicas provocadas por el agua. Mediante estas pruebas también es posible conocer los fenómenos transitorios y permanentes producidos por el agua a presión, así como por ejemplo el fracturamiento hidráulico, el lavado del relleno de las fracturas, el taponamiento de estas, el régimen de flujo a través de las fracturas y la dilatación de fracturas elásticas. Las normas que regían inicialmente a estas pruebas, planteadas por M. Lugeon, establecen que la presión máxima de la prueba debe ser 10 Kg/cm; sin embargo, los trabajos posteriores concuerdan en que, especialmente para presas, la inyección máxima de ensayo debe ser determinada en función a la carga del terreno por encima del tramo de ensayo, criterio que se ha tenido en cuenta para las pruebas ejecutadas.

Una vez elegido el tramo de ensayo y determinado con ella la presión máxima del ensayo, y seguidamente las presiones media y mínima, se procede según se indica en el acápite de la metodología de ensayo (6.2.3).

### **6.2.1 EQUIPO NECESARIO**

A continuación se describe el equipo mínimo necesario para la ejecución de los ensayos de Lugeon.

#### **BOMBA**

La bomba para la inyección de agua debe tener una capacidad mínima de 60 litros por minuto. A una presión manométrica de 10 Kg/cm<sup>2</sup> debe garantizar presiones constantes, debiendo calibrarse cada 10 ensayos, para verificar sus condiciones de operabilidad. Es importante conocer las

características de la bomba, ya que puede suceder que el montaje, la aceleración y la capacidad de la bomba sean insuficientes en rocas con muy alta absorción de agua.

### **VÁLVULAS**

Es necesaria una válvula de descarga para control de la inyección, y una válvula reguladora de presión, para evitar cambios bruscos de presión durante la inyección y para proteger los manómetros.

### **MANÓMETROS**

Se deben utilizar manómetros apropiados para el rango de presiones a ser aplicado, cuya escala no sea mayor de dos veces a la mayor presión a ser leída, es decir, hasta 20 Kg/cm<sup>2</sup>, con sensibilidad mínima de 0.510 Kg/cm<sup>2</sup> (mínima escala de lectura). Se utilizan dos manómetros uno principal y otro de comprobación, la lectura del manómetro de comprobación generalmente es mayor que la del principal debido a las pérdidas que ocasionan el medidor de caudal (caudalímetro) y la manguera. Los manómetros deben ser calibrados cada 10 ensayos. Se desecha un manómetro cuando presenta lecturas con desvío mayor al 10% del valor real. No se deben usar curvas de calibración.

### **MEDIDOR DE CAUDAL**

Debe ser lo suficientemente sensible como para registrar un caudal mínimo de 3 litros por minuto. Se debe calibrar cada 10 ensayos y descartar si presenta desviaciones en las lecturas mayores del 10%.

### **MANGUERA DE PRESIÓN Y TUBERÍA DE INYECCIÓN**

Generalmente son de 25.4 mm (1") de diámetro. Se verifica que estén en buen estado y no presente fugas.

### **PERMEÁMETRO DE FONDO O DOBLE FONDO**

Consta de uno o dos obturadores o empaques (mecánicos o neumáticos) y una tubería perforada (flauta), obturadas en los extremos para aislar el tramo de perforación que se requiere ensayar. El diámetro de la tubería interna del obturador no debe ser menor que el diámetro de la tubería de ensayo.

### **PIEZOMETRO**

Es opcional y consta de un tubo de plástico (manguera) transparente que se puede utilizar cuando se requiere mayor precisión en las mediciones de bajas presiones.

### **TANQUE AMORTIGUADOR O ESTABILIZADOR DE PRESIÓN**

Su función es estabilizar la lectura del manómetro para impedir que el campo de variación de las oscilaciones sea superior al 10% al valor a ser leído. Consiste en uno o más tambores o "botellas" parcialmente llenas de agua, lo que posibilita el amortiguamiento de las oscilaciones de presión por la variación del volumen de aire contenido en el tambor. Es contraproducente el uso de "estabilizadores" que pueden inducir a error en las lecturas.

## **CRONÓMETRO**

El cronómetro se utiliza para la medición de los tiempos de ensayo.

## **ACCESORIOS**

Tuberías, llaves, codos, universales, en buen estado de conservación, libres de óxidos especialmente en las roscas ya que disminuye la sección, cinta teflón y herramientas varias.

### **6.2.2 CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS**

Es indispensable calibrar los instrumentos de medición y verificar el funcionamiento de la bomba y los permeámetros, antes de iniciar una serie de ensayos, si se presenta algún tipo de fuga se debe corregir.

Los manómetros pueden calibrarse colocándolos en una columna de agua de altura conocida, o utilizando manómetros calibrados al lado del que se desea calibrar.

- El medidor de caudal (caudalímetro) puede calibrarse llenando recipientes de volumen conocido, preferiblemente de magnitud total similar a la que absorbería la roca durante 10 minutos.
- La capacidad nominal de la bomba utilizada puede ser considerablemente mayor a la capacidad real, y esta diferencia aumenta con el tiempo de trabajo. El conocimiento de la capacidad real y del estado de la bomba son de vital importancia cuando se estudian rocas de permeabilidad alta.
- El funcionamiento del permeámetro depende de la hermeticidad que se logra al expandir los empaques y el montaje del mismo. El

funcionamiento puede verificarse introduciendo el permeámetro en un tubo de revestimiento de diámetro apropiado y simulando el ensayo.

- La tubería de inyección debe estar limpia y libre de óxido para evitar pérdidas adicionales por fricción.

### **6.2.3 METODOLOGÍA DE EJECUCIÓN**

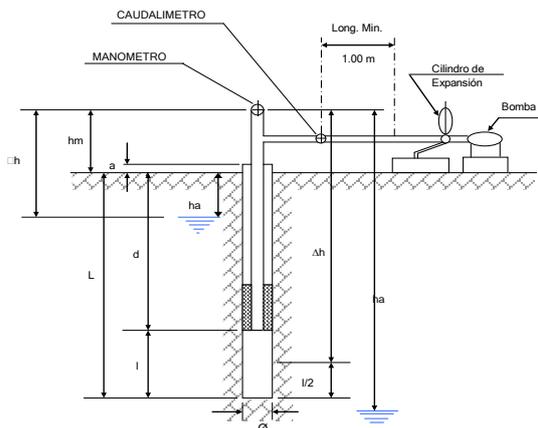
#### **Preparación del bulbo de ensayo e instalación del equipo**

Alcanzada la profundidad programada para el ensayo, se procede a lavar el sondeo y se mide el nivel freático.

Se instala el equipo conforme a la ilustración del formato 6.1 haciendo descender el obturador a la parte superior del tramo de ensayo, cuidando que éste ubicado en un tramo no fracturado o con un mínimo de fracturas. El obturador es de jebe y se expande por compresión, sellando el tramo a ser ensayado.

### ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION TIPO LUGEON (CON MANÓMETRO)

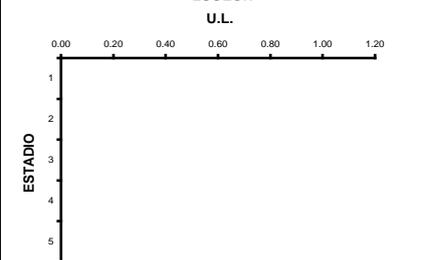
PROYECTO : _____ UBICACIÓN : _____ CÓDIGO : _____	SONDAJE N° _____ PROF. DE ENSAYO DE : _____ A _____ m. FECHA : _____ Hr.INIC. _____ FIN : _____ LITOLOG. DEL TRAMO : _____	ENSAYO N° _____ COORD. NORTE: _____ COORD. ESTE: _____ INCLINACIÓN: _____ COTA (m.s.n.m.): _____
---	---	--



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO \_\_\_\_\_ m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO \_\_\_\_\_ m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_ m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA \_\_\_\_\_ m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR \_\_\_\_\_ m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION \_\_\_\_\_ m
- α = INCLINACION C/HORIZONTAL \_\_\_\_\_ °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh \_\_\_\_\_ m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO \_\_\_\_\_ m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO \_\_\_\_\_ cm
- P<sub>M</sub> = PRESION MANOMETRICA \_\_\_\_\_
- P<sub>Ef</sub> = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO \_\_\_\_\_
- Δp = PERDIDAS DE CARGA \_\_\_\_\_
- q = VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO \_\_\_\_\_
- qt = VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO \_\_\_\_\_
- G = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO \_\_\_\_\_
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Ml. DE TRAMO DE ENSAYO \_\_\_\_\_
- UL = UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P<sub>Ef</sub> ) \_\_\_\_\_

TIEMPO EN MINUTO	Kg/cm <sup>2</sup>		Kg/cm <sup>2</sup>		Kg/cm <sup>2</sup>		Kg/cm <sup>2</sup>		Kg/cm <sup>2</sup>	
	P <sub>M</sub> =	LECTURA CAUDAL. q (l)	P <sub>M</sub> =	LECTURA CAUDAL. q (l)	P <sub>M</sub> =	LECTURA CAUDAL. q (l)	P <sub>M</sub> =	LECTURA CAUDAL. q (l)	P <sub>M</sub> =	LECTURA CAUDAL. q (l)
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
qt (l)			G (l/min)			Q (l/min/m)			Δp (kg/cm <sup>2</sup> )	
P <sub>Ef</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )			UL							

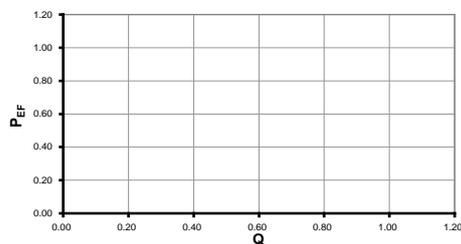
**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCION DE UNIDADES LUGEON**



UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : \_\_\_\_\_ U L  
 K (PERMEABILIDAD) : \_\_\_\_\_ cm/s

$$P_{Ef} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ejecutado por: \_\_\_\_\_ VºBº Supervisor

### Formato N° 6.1 Registro de Perdida de Agua a Presión – Lugeon

### **Procedimiento de Prueba**

Inicialmente se vierte agua al taladro, controlando que en el manómetro la aguja se estabilice en la presión mínima preestablecida. Una vez conseguida la estabilización con dos válvulas, una de suministro de agua al taladro, y la otra de descarga, se mide el consumo por unidad de tiempo. Mediante la diferencia de lecturas del hidrómetro, se obtiene el caudal en litros/minutos, empleándose para fines de los cálculos el promedio de 10 lecturas establecidas.

Terminado el primer estadio de presión mínima, se continúa con el mismo procedimiento con las presiones media y máxima, luego se desciende a las presiones media y mínima.

### **Cálculos de la Prueba y Gráfico de Resultados**

Con los caudales obtenidos para cada uno de los estadios de presión, se procede a efectuar los cálculos de absorción dividiendo el caudal entre la longitud de ensayo ( $Q = \text{lt}/\text{min}/\text{m}$ ).

Se calcula la carga hidráulica, que es la presión hidrostática de la columna de agua que actúa efectivamente sobre el bulbo (peso de la unidad de área ejercida por encima del nivel freático), cuando hay, o bien referido a la mitad del tramo de ensayo cuando éste por debajo del fondo del taladro.

La pérdida de carga no es necesario calcular, considerando que es despreciable, teniendo en cuenta que la tubería de agua utilizada es galvanizada y con diámetro de 1 pulgada, además de que los caudales de prueba son bajas.

Conociendo los valores de la presión manométrica, carga hidráulica y la pérdida de carga, se calcula la presión efectiva que actúa en el bulbo de ensayo:

$$\text{PRESIÓN EFECTIVA} = \text{PM} + \text{CH} - \text{PC}$$

Donde: PM = Presión Manométrica

CH = Carga Hidráulica

PC = Pérdida Carga

Con los valores de absorción y presión efectiva, se procede a graficar la curva de la prueba en el sistema cartesiano, los registros de prueba tienen un espacio en la parte inferior izquierda de la hoja.

Finalmente, considerando que las presiones efectivas no son iguales a 10 Kg/cm<sup>2</sup>, es necesario extrapolar las absorciones a 10 Kg/cm<sup>2</sup> ya que la Unidad Lugeon es el consumo y se halla expresada en litros por minuto por metro.

Si se tiene en cuenta que la relación entre las presiones efectivas y las absorciones de los diferentes estadios no siempre es lineal, se plantea la interrogante de cuál de las absorciones extrapoladas a 10 Kg/cm<sup>2</sup> proporciona el valor Lugeon representativo, o bien esta puede ser obtenida promediando los cinco estadios. Al respecto existen numerosos criterios para la obtención del valor Lugeon representativo (ABGE – 1975, Houlby A.C. 1976 y MOTOR COLUMBUS – 1985), habiéndose adoptado para el cálculo del valor Lugeon representativo de las pruebas ejecutadas la extrapolación de la absorción de la presión máxima.

Mediante estas pruebas es posible conocer los fenómenos transitorios y permanentes producidos por el agua a presión; así por ejemplo el fracturamiento hidráulico, el lavado del relleno de las fracturas, el taponamiento de estas, el régimen de flujo a través de las fracturas elásticas.

Los valores en Unidades Lugeon se transforman en permeabilidad en cm/seg empleando la relación:

$$1.0 \quad \text{U.L.} = 1.3\text{E-}05 \text{ cm/seg (C.H. Houlsby 1976)}$$

#### **6.2.4 INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS DE MEDICIÓN LUGEON**

La gráfica Absorción – Presión Efectiva de un ensayo Lugeon corresponde a cualquiera de los cinco casos siguientes, la representación se muestra en el cuadro N° 6.1

##### **6.2.4.1 Flujo laminar**

Los valores de absorción y presión efectivas guardan una relación lineal, es decir la absorción es proporcional a la presión efectiva. Lo origina la escasa abertura de las fracturas y con relleno granular, consecuentemente el consumo por fractura es igual, normalmente está asociado a valores bajos de Lugeon.

##### **6.2.4.2 Flujo Turbulento**

La absorción correspondiente a la presión máxima es relativamente menor que las presiones intermedias y mínimas, ya que las fracturas tienen aberturas diferentes.

#### **6.2.4.3 Dilatación**

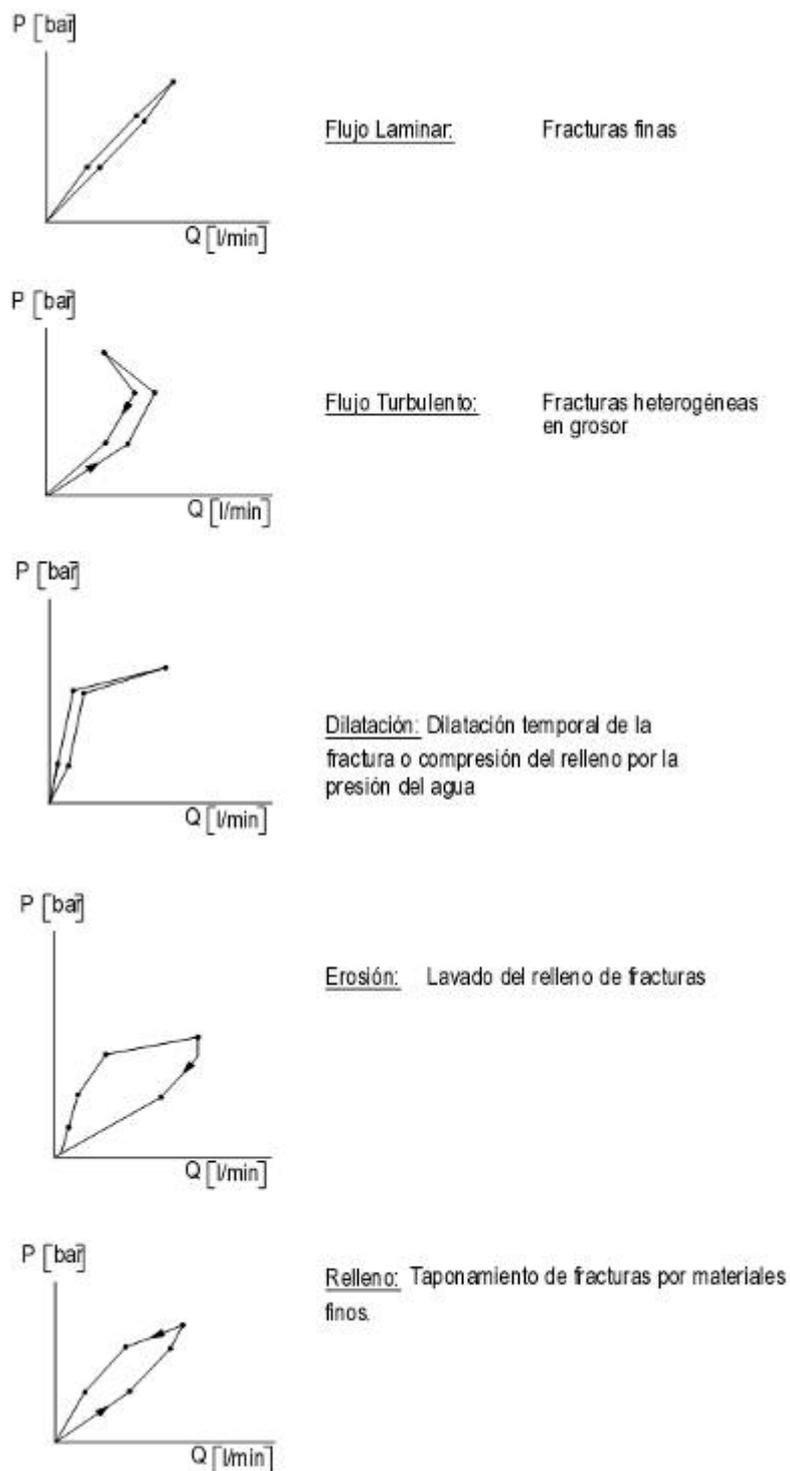
En este caso cuando la roca es sometida a la presión máxima hay una dilatación temporal de las aberturas o se comprime momentáneamente el relleno por efecto de la presión del agua; la absorción para este estadio es sensiblemente mayor, en términos relativos. Es un proceso reversible y la abertura será “elástica”.

#### **6.2.4.4 Erosión**

El material fino del relleno de las fracturas es lavado por el agua del ensayo, incrementándose el volumen útil de las fisuras en el tramo del macizo rocoso ensayado, en el macizo rocoso la absorción se incrementa relativamente con el tiempo. En este caso la curva absorción efectiva se ensancha y las flechas apuntan en sentido horario.

#### **6.2.4.5 Relleno**

Por efecto de la colmatación de los finos que pudiera acarrear el agua de ensayo, o bien del mismo material erosionado y redepositado del relleno de fracturas, las aberturas se semiciegan o taponan a medida que transcurre el ensayo; la absorción, consecuentemente decrecerá en función del tiempo.



**Figura N° 6.1 Tipos de curva para la interpretación de los ensayos de Lugeon**

También en este caso la curva Absorción – Presión Efectiva se ensanchan, pero las flechas apuntan en sentido anti horario. Otro factor que puede atribuírsele a este tipo de curva es que la disminución de absorción se deba a la resistencia capilar de penetración del agua en fracturas finas. Este factor puede discriminarse con una saturación total, pero no siempre es posible.

#### **6.2.5 DETERMINACIÓN DEL VALOR LUGEON REPRESENTATIVO (UL\*)**

Según la experiencia de numerosos autores entre ellos Houlsby (1976), no siempre resulta ser el valor Lugeon correspondiente a la mayor presión efectiva aplicada. Por el contrario, los valores obtenidos a partir de las presiones medias y bajas serían las más representativas.

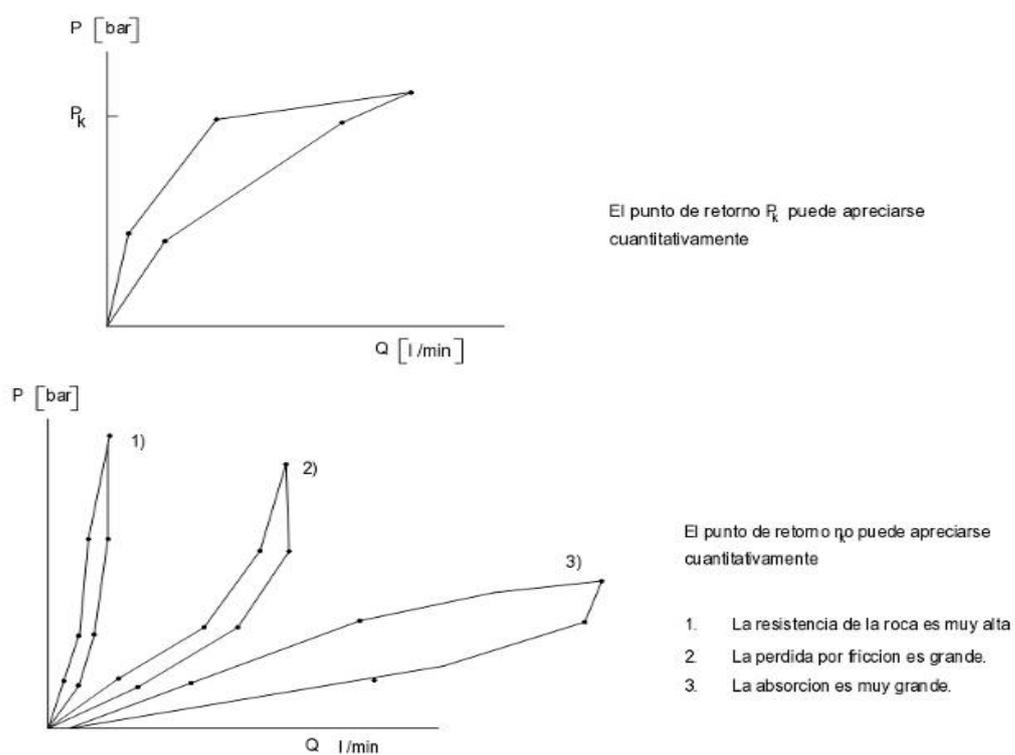
En el cuadro N° 6.3 se explica claramente el procedimiento para la elección del valor Lugeon de la absorción y presión efectiva a considerarse en la extrapolación de 10 Kg/cm<sup>2</sup>, para la obtención del valor Lugeon representativo, UL dependiendo del tipo de curva característica que se obtenga para un ensayo determinado.

Una vez elegido el valor Lugeon representativo se califica de la siguiente manera:

- 0–1 UL\* muy favorable
- 1–3 UL\* favorable
- 3–10 UL\* desfavorable
- >10 UL\* muy desfavorable

Como se ha visto oportunamente, cuando  $UL^* < 3$  el flujo es laminar, las fracturas finas, normalmente no requiere de inyección de cemento para mejorar la calidad del macizo rocoso y/o impermeabilizarlo.

Cabe aclarar que 1 Lugeon es equivalente a  $1.03 \times 10^{-5}$



**Figura N° 6.2 Determinación del Punto de Retorno**

PATRONES DE RESULTADOS DE PRUEBAS LUGEON, SU INTERPRETACIÓN Y PORCENTAJE DE OCURRENCIAS (HOULSBY - 1976)						
	PRESIONES DE PRUEBA (MAGNITUDES RELATIVAS APROXIMADAS)	PATRONES LUGEONES LUGEONES CALCULADOS PARA CADA 10 MINUTOS DE ENSAYO. LAS MOGN. RELATIVAS MUESTRAN UN PATRÓN GENERALIZADO, A MAGN. ACTUAL PUEDE VARIAR AMPLIAMENTE	CARACTERÍSTICAS DE LOS PATRONES E INTERPRETACIONES	EN LOS PATRONES ¿CUÁL DE LOS VALORES LUGEON PODRAN USARSE COMO PERMEABILIDAD DEL REPORTE?	POR CENTAJE DE CASOS ACTUALES EN CADA GRUPO	
					1,263 Lugeones	40 más lugeones
<b>GRUPO A – FLUJO LAMINAR</b>						
1 <sup>o</sup> (DIEZ MINUTOS DE ENSAYO)			LOS 5 LUGEONES APROXIMADAMENTE IGUALES. ENTONCES: FLUJO LAMINAR	USESE EL PROMEDIO DE LOS 5 LUGEONES	78%	5%
2 <sup>o</sup>						
3 <sup>o</sup>						
4 <sup>o</sup>						
5 <sup>o</sup>						
<b>GRUPO B – FLUJO TURBULENTO</b>						
1 <sup>o</sup> (DIEZ MINUTOS DE ENSAYO)			EL VALOR LUGEON MÁS BAJO OCURRE EN LA PRESIÓN MÁXIMA. ENTONCES: FLUJO TURBULENTO	USESE EL VALOR LUGEON PARA LA PRESIÓN MÁXIMA	13%	53%
2 <sup>o</sup>						
3 <sup>o</sup>						
4 <sup>o</sup>						
5 <sup>o</sup>						
<b>GRUPO C – FLUJO TURBULENTO</b>						
1 <sup>o</sup> (DIEZ MINUTOS DE ENSAYO)			EL VALOR LUGEON MÁS ALTO OCURRE EN LA PRESIÓN MÁXIMA. ENTONCES: DILATACIÓN	USESE LOS VALORES LUGEON PARA LAS PRESIONES MÍNIMAS (6 MEDIAS)	1%	9%
2 <sup>o</sup>						
3 <sup>o</sup>						
4 <sup>o</sup>						
5 <sup>o</sup>						
<b>GRUPO E – EROSIÓN</b>						
1 <sup>o</sup> (DIEZ MINUTOS DE ENSAYO)			LOS LUGEONES AUMENTAN EN EL PROCESO DE PRUEBA ESTA CAUSANDO CAMBIOS EN EL MEDIO ROCOSO	USESE LOS VALORES LUGEON MÁS ALTOS, A MENOS QUE POR RAZONES ESPECIALES REQUERA OTRO CASO	2%	21%
2 <sup>o</sup>						
3 <sup>o</sup>						
4 <sup>o</sup>						
5 <sup>o</sup>						
<b>GRUPO E – RELLENO</b>						
1 <sup>o</sup> (DIEZ MINUTOS DE ENSAYO)			LOS LUGEONES DECRECEN EN EL PROCESO DE PRUEBA ENTONCES LOS VACÍOS SON GRADUALMENTE RELLENADOS	FRECUENTEMENTE, USESE EL ÚLTIMO VALOR LUGEON	6%	12%
2 <sup>o</sup>						
3 <sup>o</sup>						
4 <sup>o</sup>						
5 <sup>o</sup>						

Cuadro Nº 6.3 Patrones de resultados de pruebas Lugeon Para la obtención del valor Lugeon representativo) Houlsby,1976)

### **6.3 PRUEBA DE ENSAYO TIPO LEFRANC**

Las pruebas Lefranc se practican en unidades litológicas porosas, homogéneas y continuas, o en rocas muy fracturadas en las que se puede aplicar los principios de la Ley de Darcy. Bajo esta premisa se aplican en los trabajos de campo, donde sea necesario determinar la permeabilidad del suelo o de la roca, en perforaciones de investigación.

Las pruebas de Lefranc pueden ser de dos tipos: de carga constante o carga variable, y la elección de uno u otro depende del caudal en el tramo del ensayo principalmente.

El equipo necesario para la ejecución de la prueba Lefranc consta de los siguientes elementos:

- Cuentalitros
- Probetas graduadas de 100, 500 y 1000 cm<sup>3</sup>, de vidrio o plástico transparente
- Sonda para medir la posición del nivel freático
- Motobomba
- Caudalímetro
- Válvulas para control de flujo, mangueras y accesorios galvanizados
- Arcilla o Bentonita

Seguidamente se describen los dos tipos de ensayo Lefranc.

#### **6.3.1 ENSAYO LEFRANC CON CARGA CONSTANTE**

Las pruebas con carga constante se realizan con una carga hidráulica constante en el tramo de prueba, procediéndose a estabilizar el nivel de agua mediante un gasto constante. A diferencia de la prueba con carga

variable descendente, en la que se llena el agua hasta el tope y luego se mide la depresión en función del tiempo.

### **Preparación del Bulbo de Ensayo e Instalación del Equipo**

Alcanzada la profundidad de ensayo, se baja el revestimiento hasta el fondo del taladro y luego se levanta tanto como mida el tramo de ensayo elegido seguidamente se lava el sondeo y se mide el nivel freático.

Se instala el equipo de prueba, en el siguiente orden: bomba de agua (cerca de la fuente), válvulas para el control del suministro de agua hacia el taladro, complementando con una válvula conectada en T. A continuación de la válvula para el control del suministro de agua al taladro, va un hidrómetro o caudalímetro. Todos estos accesorios de prueba son conectados convenientemente con mangueras o tuberías.

### **Procedimiento de Prueba**

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

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

Conseguida la estabilización del nivel, se determina el caudal que ingresa a través del bulbo de ensayo, obteniéndose por diferencia de las lecturas de cada minuto efectuadas en el hidrómetro. Las lecturas se hacen durante 10 minutos con el nivel estabilizado y el caudal es el promedio de 10 lecturas.

El nivel constante determinará una carga hidráulica constante que actúa sobre el tramo de ensayo. La carga hidráulica es función de la altura que separa al nivel estabilizado del nivel freático, cuando lo hay, o bien a la mitad del tramo de ensayo cuando el nivel freático está ubicado por debajo del tramo.

Además deberá conocerse parámetros inherentes al bulbo de ensayo, como son diámetro y longitud.

#### **6.3.1.1 CALCULO DEL VALOR DE PERMEABILIDAD**

Conocido los parámetros referidos en el párrafo anterior, se procede al cálculo del valor de la permeabilidad.

Para el cálculo de permeabilidad de una prueba, se tiene en cuenta el factor de forma del bulbo del ensayo. El factor de forma esta dado prácticamente por la relación de la longitud y el diámetro del bulbo de ensayo ( $L/D$ ).

Para el cálculo de las pruebas efectuadas se tienen en cuenta cuatro rangos de la relación ( $L/D$ ), y para cada caso en los formatos de registro de prueba están dadas las fórmulas a ser empleadas.



Foto N° 6.1 Realizando La Prueba de Presión de Agua – Tipo Lugeon

### **6.3.2 ENSAYO LEFRANC CON CARGA VARIABLE**

Estas pruebas reciben esta designación debido a que durante su ejecución la carga hidráulica actuante sobre el tramo de ensayo es variable en el tiempo, así también en caudal.

#### **Preparación del Bulbo de Ensayo e Instalación del Equipo**

Los conceptos anotados respecto a la preparación del bulbo de ensayo son los mismos que para el caso anterior (acápite 6.3.1). El equipo de prueba prescinde del hidrómetro y es necesario un flexómetro, con aproximación al milímetro y una sonda para medir el nivel de agua.

#### **Procedimiento de Prueba**

Se vierte agua por el revestimiento hasta que llene, una vez lleno hasta la boca del revestimiento, el suministro de agua se interrumpe, constituyéndose este momento el tiempo  $t = 0.0$  minuto, para un nivel al ras del revestimiento  $H = 0.0$  cm.

El descenso del nivel de agua es medido respecto a la boca del revestimiento con el flexómetro o la ayuda de una sonda a intervalos de tiempo uniformes, normalmente cada minuto y se determina la diferencia del nivel de lectura a lectura ( $H$ ). Las lecturas se suceden hasta que el nivel se estabilice, o bien durante 30 minutos.

La información obtenida, permite calcular los valores del caudal y de la carga hidráulica a ser reemplazados en el cálculo de permeabilidad.

#### **6.3.2.1 CÁLCULO DEL CAUDAL Y DE LA CARGA HIDRÁULICA**

Los valores obtenidos del descenso de nivel durante la prueba, son graficados en sistema logarítmico, ubicándose la relación de carga en las abscisas y el tiempo en las ordenadas.

La nube de puntos resultante tendrá una tendencia más o menos definida. Se elige un tramo de ella en el que se observe mejor correlación, compatible con un flujo laminar, y se traza una línea representativa de correlación.

Dos puntos de esta línea ( $H_1$  y  $H_2$ ), referidas al tiempo ( $t_1$  y  $t_2$ ), permite conocer la diferencia de nivel para un lapso ( $t = t_2 - t_1$ ).

La carga hidráulica es considerada para el cálculo de la permeabilidad, es el promedio de las cargas hidráulicas actuantes en los instantes  $t_1$  y  $t_2$ .

### 6.3.2.2 CÁLCULO DEL VALOR DE LA PERMEABILIDAD

Conocidos los valores de caudal y de la carga hidráulica, el cálculo del valor de la permeabilidad se efectúa con los mismos criterios que en el caso anterior (acápito 6.3.1.1).

La información de cada una de las pruebas ejecutadas y sus resultados de cálculos, son consignados en los cuadros Resumen de resultados de ensayo de permeabilidad.

La evaluación de los resultados de los ensayos se realizan con las formulas siguientes:

- Carga Constante  $K = \frac{Q}{CH}$
- Carga Variable  $K = \left[ \frac{A}{C} (t_2 - t_1) (Ln) h_1 - h_2 \right]$

Dónde:

Q = Gastos o Caudales Constantes Inyectado

H = Carga Hidráulica (m)

A = Área Interna del Revestimiento

H1 y H2 = Niveles de Agua en Tiempos t1 y t2

T1 y T2 = Tiempo en que fueron hechas las mediciones para determinar H1 y H2 (segundos)

C = Coeficiente de forma

Los coeficientes de forma aceptadas para la prueba Lefranc se muestran en la tabla 6.1

RELACIÓN (L/D)	FORMA DE LA CAVIDAD	PERMEABILIDAD LOCAL	COEFICIENTE C
$\left(\frac{L}{D}\right) = 0$	Disco	Vertical	$C = 2D$
$0 < (L/D) < 1$	Esfera	Promedio	$C = 2\pi D \sqrt{\frac{L}{D} + \frac{1}{4}}$
$1 < \left(\frac{L}{D}\right) < 4$	Elipsoide	Horizontal	$C = \frac{2\pi L}{\left\{ \text{Ln} \left[ \frac{L}{D} + \sqrt{\frac{L^2}{D^2} + 1} \right] \right\}}$
$\left(\frac{L}{D}\right) > 4$	Cilíndrico	Horizontal	$C = \frac{2\pi L}{\text{Ln} \left( 2 \frac{L}{D} \right)}$

**Tabla: 6.1 Coeficientes para la prueba Lefranc**

Donde:

D = Diámetro del Bulbo de Ensayo (m)

L = Longitud del Bulbo de Ensayo (m)



<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC</b>					
<b>PROYECTO:</b> <b>FECHA:</b> <b>REALIZADO:</b> <b>REVISADO:</b>			<b>SONDEO N°:</b> <b>PROFUNDIDAD DE PRUEBA:</b> <b>OPERADOR:</b> <b>PROF.NIVEL FREATICO:</b>		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					

D=	m.	H=	m.
d=	m.	B=	m.
h=	m.	L=	m.
C=		Ho=	m.
H <sub>1</sub> =	m.	F <sub>1</sub> =	s.
H <sub>2</sub> =	m.	F <sub>2</sub> =	s.

FORMULA :

$$k = \frac{A}{C(t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$$

FACTORES DE FORMA ( C ) :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

K=(PERMEABILIDAD)= \_\_\_\_\_ cm/s

OBSERVACIONES

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Formato N° 6.3 Ensayo de Permeabilidad Lefranc Carga Constante**

## **CAPITULO VII**

### **ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)**

El ensayo normal de Penetración Standard (SPT) nació en los Estados Unidos de Norteamérica en la década de 1920, con la finalidad de estimar el grado de densificación de los suelos. Ver foto 7.1.

Originalmente los penetrómetros dinámicos fueron concebidos para apreciar la compacidad de los suelos sin cohesión, ante la dificultad de obtener muestras inalteradas.

En 1925, un perforista de la firma Societé Raymond - Pile, propuso a K. Terzaghi, contar el número de golpes necesarios para hincar en un tubo tomamuestras que tenía por costumbre utilizar, asumiéndolo como un ensayo después de haber acumulado gran número de resultados. Ref. (1). Asimismo se reportó los trabajos de Mohr H.A. (1927), quien utilizó el tomamuestras como un penetrómetro.

#### **7.1 PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DEL SPT**

El método de Penetración Standard es el más ampliamente usado para la exploración de suelos, y comprende las etapas de Sondeo y Perforación.

##### **Sondeo**

Es una perforación con barreno, inyección de agua o sondeo rotatorio usando un taladro con movimiento de rotación de alta velocidad y circulando agua para extraer los detritos (ver Figs. N° 7.11 y 7.12).

En los suelos firmes el sondaje se mantiene abierto por la acción del arco del suelo; en las arcillas blandas y en las arenas situadas debajo del nivel freático, el sondaje se mantiene abierto hincando un tubo de acero (tubo de entibado o camisa) o preferiblemente rellenando el hueco con un fluido viscoso llamado "Lodo de perforación"; el lodo de perforación es una mezcla de bentonita, baritina y agua, que tiene la ventaja de soportar las paredes y el fondo de la perforación.



**Foto N° 7.1 Realizando el ensayo de STP**

## **Muestreo**

Se realiza con un tomamuestras partido denominado también "Cuchara Normal" que está formado por un tubo de acero de paredes gruesas partido longitudinalmente. El extremo inferior está unido a un anillo cortante, y el superior a una válvula y pieza de conexión a la barra de sondeo (ver Fig. N° 7.13).

Una vez efectuada la limpieza correspondiente de la perforación de sondeo, se hincan el tomamuestras 15 cm en el suelo para asegurarse que la zapata de corte se asiente en material virgen. Luego se hincan 30 cm en incrementos de 15 cm a golpes de un martinete que pesa 64 kilos (140 libras) y cae de una altura de 76 cm. Se anota el número de golpes que se necesita para hincar el tomamuestras cada uno de los 15 cm.

El Registro de Penetración o Índice de Penetración "N" se obtiene al considerar los golpes necesarios para penetrar los últimos 30 cm (12") de un total de 45 cm (18") de la Cuchara Muestreadora. Los primeros 15 cm (6") no se consideran, dado que el suelo podría estar alterado por efectos del procedimiento utilizado durante la ejecución del sondaje.

La muestra es examinada, clasificada por el técnico de campo encargado del sondeo, guardándose posteriormente en un depósito de vidrio o plástico, que se sella y se envía al laboratorio.

Las muestras recuperadas en el penetrómetro que mantienen su forma cilíndrica pueden ser usadas para pruebas de compresión sin confinamiento.

La resistencia a la Penetración es un indicador de la compacidad de los suelos no cohesivos y de la resistencia de los suelos cohesivos. Es un ensayo Dinámico de Esfuerzo Cortante In-Situ.

Las tablas 7.1 y 7.2 muestran la compacidad y la resistencia con el ensayo de Penetración Standard.

NÚMERO DE GOLPES	COMPACIDAD RELATIVA
0 – 4	MUY SUELTA
5 – 10	SUELTA
11 – 20	FIRME
21 – 30	MUY FIRME
31 – 50	DENSA
Más de 50	MUY DENSA

**Tabla Nº 7.1 Compacidad Relativa de la Arena**

NÚMERO DE GOLPES	CONSISTENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (Kg/cm <sup>2</sup> )
<2	MUY BLANDA	<0.25
2-4	BLANDA	0.25 – 0.50
4 -8	MEDIA	0.50 – 1.00
8-15	FIRME	1.00 – 2.00
15-30	MUY FIRME	2.00 – 4.00
>30	DURA	>4.00

**Tabla Nº 7.2 Resistencia De Los Suelos Cohesivos**

## 7.2 RELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" DEL SPT, DENSIDAD RELATIVA Y ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (f)

Al ser el ensayo SPT una prueba empírica, se presentan seguidamente las aplicaciones determinadas por diversos autores.

### 7.2.1 APOORTE DE TERZAGUI y PECK

Relacionan los valores de N-DR Y N-f en forma independiente de la profundidad a la que se efectúa el ensayo, y por lo tanto de la sobrecarga efectiva en el nivel considerado (ver Fig. N<sup>o</sup>. 7.1)

Cuando el ensayo se efectúa en arenas finas o limosas bajo el nivel de la napa freática, debe reducirse el número de golpes a través de la siguiente relación:

$$N = \frac{N' + 15}{2}$$

Donde:

N' > 15 (valor medido in/situ, debajo del N.F.)

N = valor corregido.

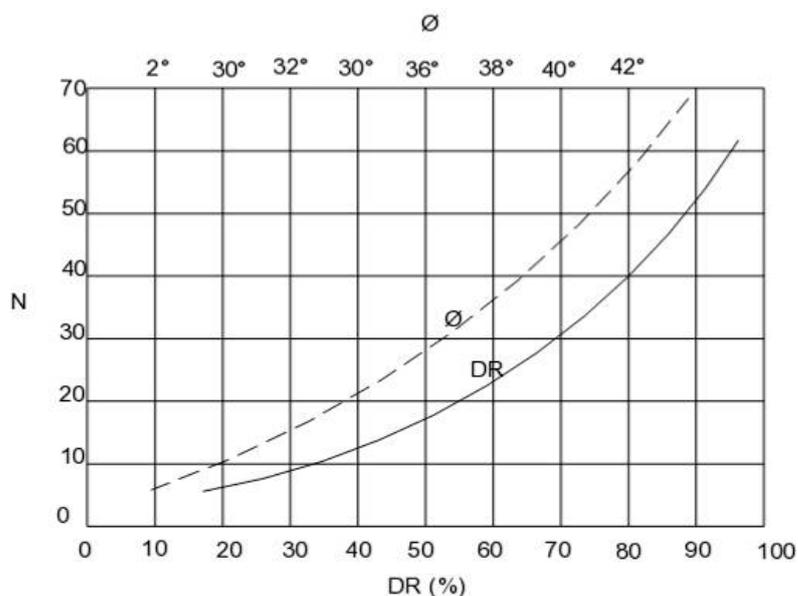


Fig. N<sup>o</sup> 7.1 Correlaciones N-DR y N-φ (TERZAGHI PECK)

### 7.2.2 APORTE DE GIBBS y HOLTS

Proporciona correlaciones entre N, DR y la sobrecarga efectiva, tomando en consideración el grado de humedad y el tamaño de los granos. En la Fig. 7.2 se muestra la correlación entre "N" y la Densidad Relativa de una arena fina, seca, para diferentes valores de la sobrecarga efectiva.

La Figura N<sup>o</sup>. 7.3 muestra la misma correlación para arenas gruesas, secas o húmedas. En las figuras mostradas se incluye la correlación de TERZAGHI y PECK a modo de comparación.

Las propiedades de las arenas utilizadas por GIBBS y HOLTZ en sus investigaciones se muestran en la Figura N<sup>o</sup> 7.4.

Es necesario destacar que el hecho de utilizar la correlación de TERZAGHI y PECK, conduce a estimar una menor densidad relativa, y por ende a subestimar la capacidad de soporte del suelo, con excepción del caso de arenas secas o húmedas cuando "N" es aproximadamente mayor que 35 y la sobrecarga efectiva excede a 40 P.S.I. (2.8 Kg/cm<sup>2</sup>).

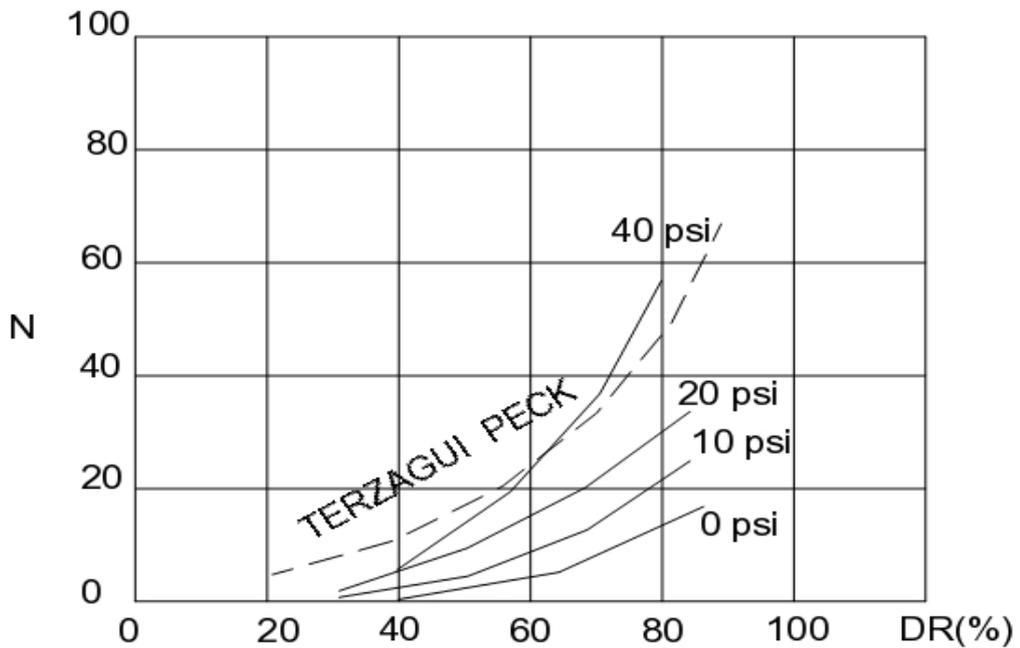


Fig. N° 7.2 Efectos de la presión de sobrecarga para arena seca

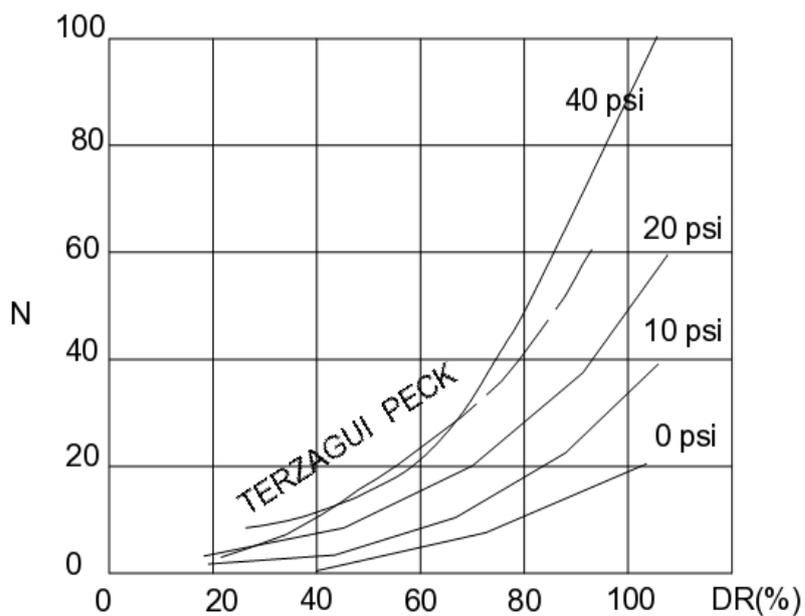
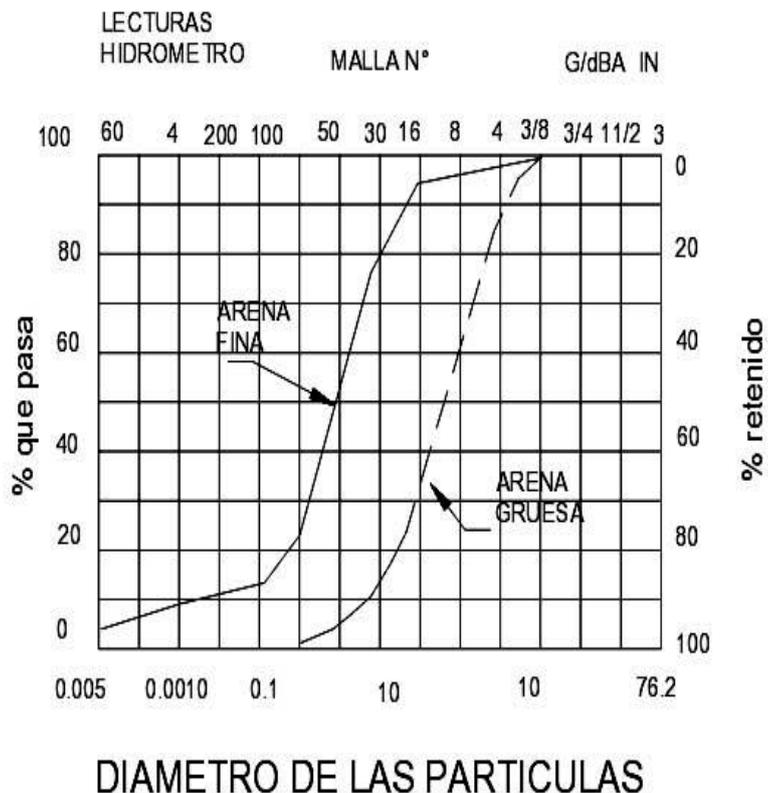


Fig. N° 7.3 Efectos de la presión de sobrecarga para arena gruesa, seca o humedad



**Fig. N° 7.4 Granulometría de las arenas ensayadas por GIBBS y HOLTZ**

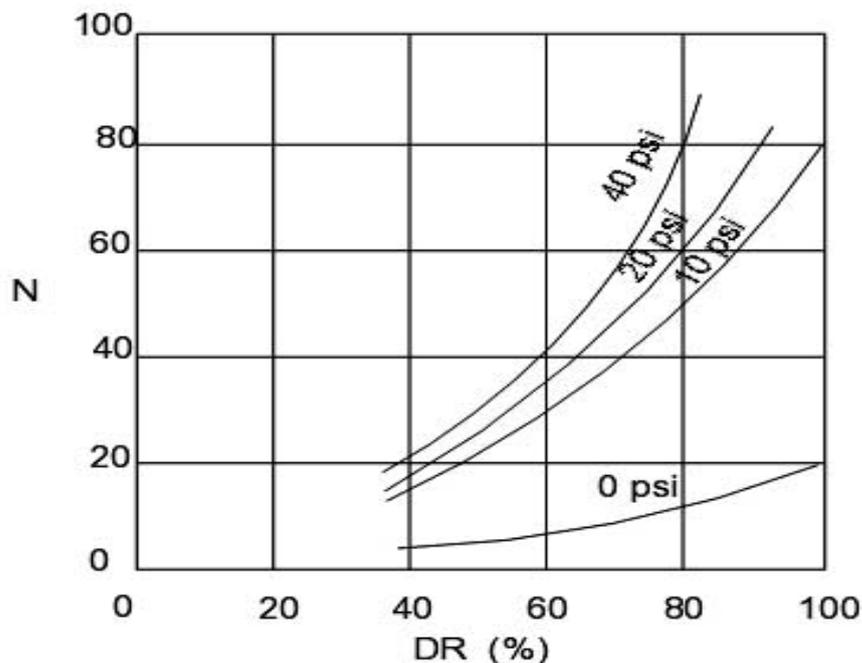
### 7.2.3 APORTE DE PECK Y BAZARAA

Relacionan la densidad relativa de la arena con el índice de penetración standard "N" y la presión de sobrecarga en el nivel donde se efectúa el ensayo, por medio de las siguientes relaciones:

$$N = 20D_R^2(1+2\sigma) \quad \text{para } \sigma < 1.5 \text{ kips/pie}^2 \text{ ( 0.73 kilos/cm}^2 \text{ )}$$

$$N = 20D_R^2( 3.25+0.5\sigma) \quad \text{para } \sigma > 1.5 \text{ kips/pie}^2 \text{ ( 0.73 kilos/cm}^2 \text{ )}$$

En la que "N" es el valor del SPT para una arena con una densidad relativa  $D_R$  y bajo una presión de sobrecargas. La figura N° 7.5 representa esta correlación.



**Fig. N° 7.5 Correlación N – DR,  $\sigma$  PECK – BAZARAA**

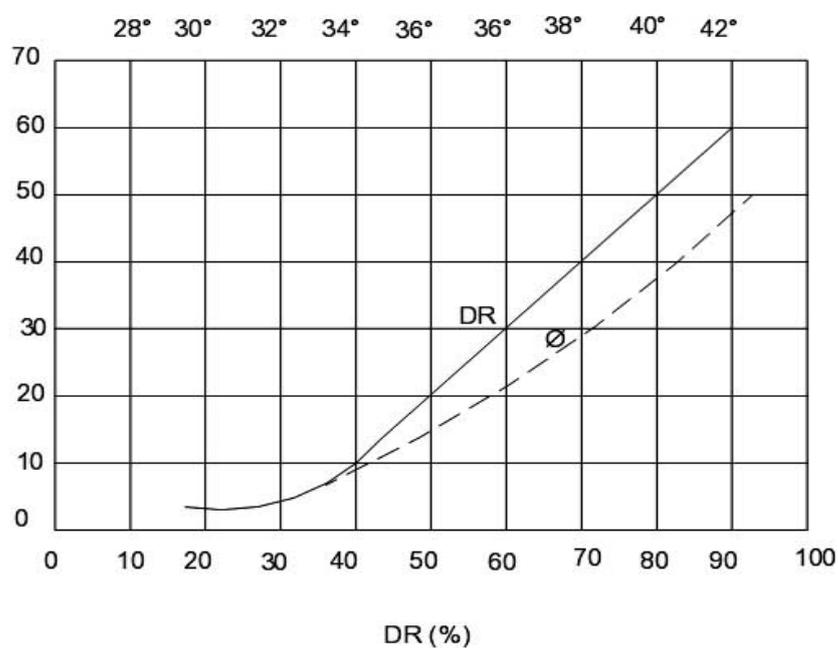
#### **7.2.4 APORTE DE MEYERHOF**

En investigaciones realizadas entre 1953, 1954 y 1955 Meyerhof estableció una correlación entre N, DR, y  $f$ , que es independiente de la presión de sobrecarga efectiva (ver figura N° 10).

Según el autor los valores de los ángulos son seguros para arenas limpias y uniformes, deben reducirse por lo menos 5 grados para el caso de arenas arcillosas en ausencia de ensayos de corte; para el caso de una mezcla de arenas con gravas pueden aumentarse hasta 5 grados.

Posteriormente en 1975 estableció una correlación en la cual se incluye el efecto de la presión de sobrecarga ( $s$ ) en el nivel donde se efectúa el ensayo, por medio de la siguiente relación.

$$N = 1.7 D_R^2 (\sigma + 10); \sigma = \text{lib/pulg}^2$$



**Fig. N° 7.6 Correlaciones  $N - DR$  Y  $N \emptyset$  (MEYERHOF)**

Existen además otras correlaciones, que relacionan los valores de  $N$ ,  $DR$  y  $f$ , tales como:

- SCHULTZE & MELZER
- ALPAN
- SCHULTZE & MENZENBACH
- BURMISTER

### 7.3 FACTORES DE CORRECCION POR SOBRECARGA EN ARENAS

El factor de corrección del SPT ( $C_N$ ) está definido como la relación entre la resistencia medida del SPT para una presión vertical efectiva dada ( $\sigma_v$ ), a la resistencia medida a un esfuerzo vertical standard ( $\sigma_v$ )<sub>Ref</sub>, normalmente de 1 T/pie<sup>2</sup> ó 1 Kg/cm<sup>2</sup>.

En la práctica el valor del número de golpes corregido ( $N_1$ ), se obtiene usando la siguiente relación:

$$N_1 = C_N \cdot N$$

Donde:

$N$  representa el número de golpes medidos.

Los factores de corrección comúnmente usados se dan en la tabla No. 7.3

REFERENCIA	FACTOR DE CORRECCIÓN ( $C_N$ )	UNIDAD DE $\sigma_v$
TENG (1962)	$C_N = \frac{50}{10 + \sigma_v}$	Psi
BAZARAA(1967)	$C_N = \frac{4}{1 + 2\sigma_v} \quad \sigma_v \leq 1.5$ $C_N = \frac{4}{3.25 + 0.5\sigma_v} \quad \sigma_v > 1.5$	ksf
PECK HANSEN, THOUMUM (1974)	$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{\sigma_v}$	tsf
SEED (1976)	$C_N = 1 - 1.25 \log_{10} \sigma_v$	tsf
SEED (1977)	VER FIGURA 1(b)	
TOKIMATSU Y YOSHIMI (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma_v}$	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla N° 7.3 Resumen de los factores de corrección publicados

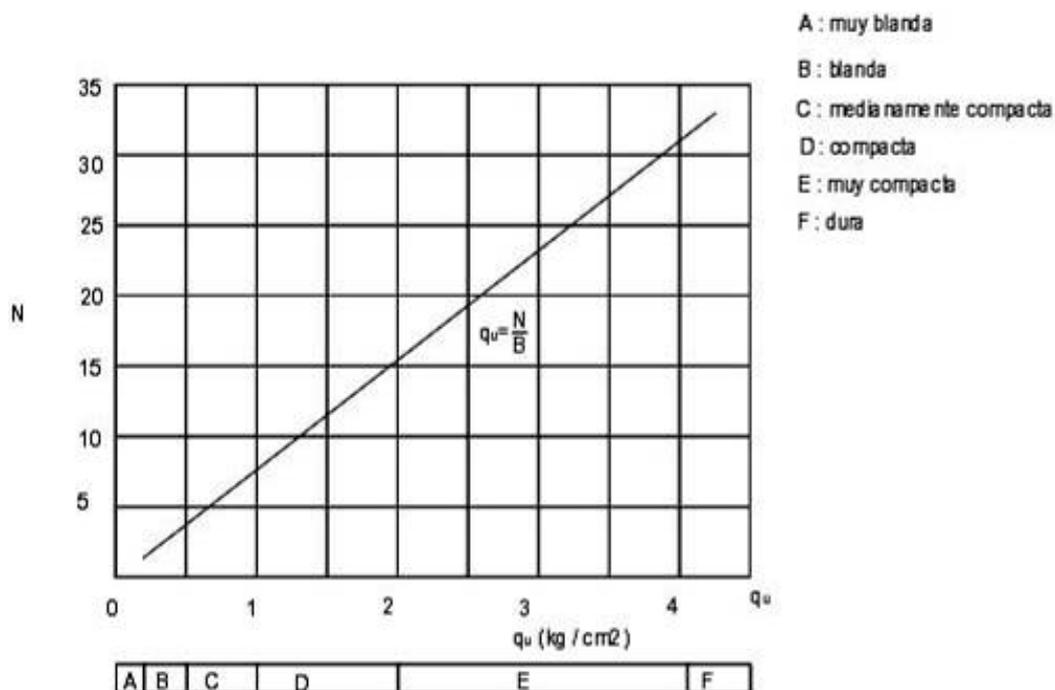
En los recientes esfuerzos para promover la estandarización de SPT (KOVACS y SALAMONE 1982; KOVACS y COLABORADORES 1984; SEED y COLABORADORES 1984) propusieron que sería conveniente normalizar el factor de corrección por sobrecarga a fin de tener una común interpretación.

De esta manera recomiendan que el factor de corrección de TENG (1962) sea reducido, debido a que el nivel de esfuerzo de referencia es demasiado alto  $(\sigma_v)_{Ref} = 2.9$  t.s.f.

También recomienda que el factor de corrección de SEED (1976) y de TOKIMATSU y YOSHIMI (1983) no deben ser usados o restringir su uso para  $\sigma_v$  mayor que 1.5 t.s.f. porque proporciona valores conservadores.

El uso de cualquiera de los factores de corrección mostrado en la figura 7.7, es aceptable y conducirá a una normalización temporal y a resultados consistentes. Sin embargo, se propone un factor de corrección simple que sea comparable con cualquiera de los que se muestran en la figura N° 7.7:

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma_v}}$$



**Fig. N° 7.7 Factores Corregidos Comparación y Publicación: (a) Inconsistencia de los Factores Corregidos (b) Consistencia de los Factores Corregidos**

#### **7.4 RELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y LA CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS**

Durante la ejecución de los sondajes es posible estimar la resistencia por medio del Ensayo de Penetración, Fig. N°. 7.8; sin embargo, para un número de golpes, la dispersión con respecto al término medio puede ser muy grande. Por lo tanto, es recomendable como control realizar ensayos de compresión simple en las muestras obtenidas por la cuchara, normalmente los valores de laboratorio serán sensiblemente menores debido a la alteración de las muestras.

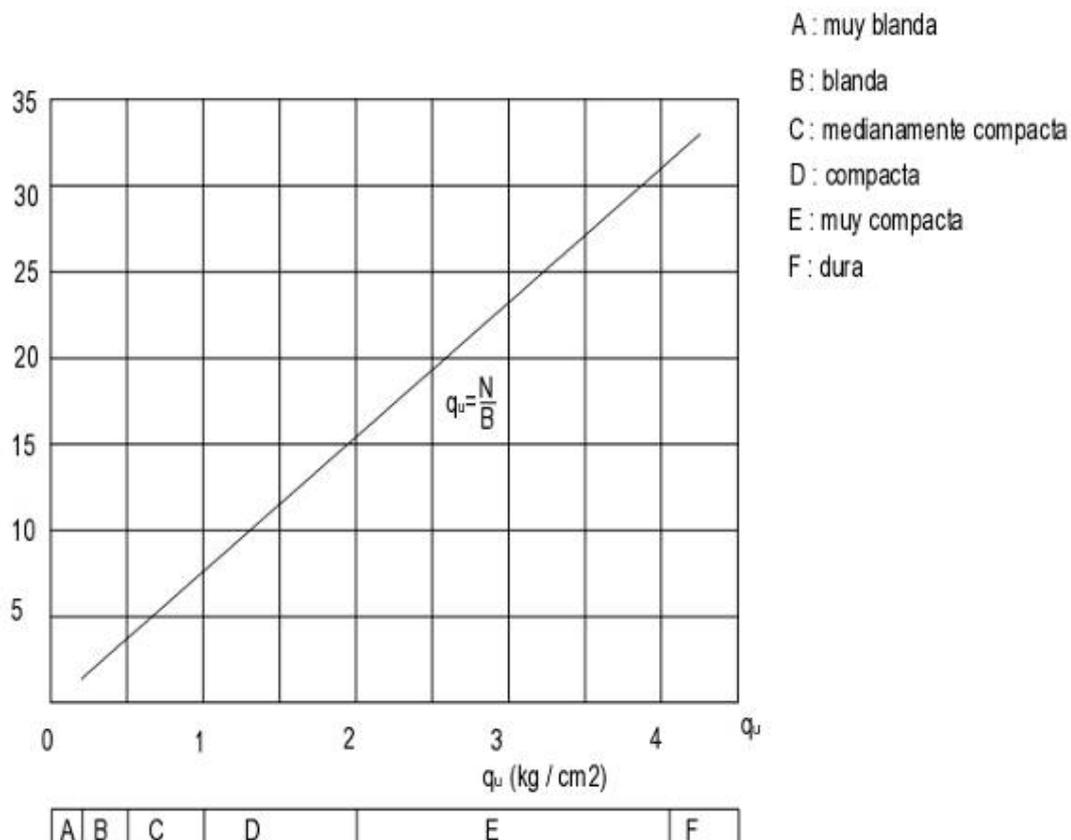
Se puede estimar en forma aproximada la resistencia de la compresión simple ( $q_u$ ) en función de  $N$ , para los tipos de suelos que se indica, mediante las relaciones siguientes:

Arcilla	$q_u = \frac{8}{N}$	(Kg/cm <sup>2</sup> )	TERZAGHI
Arcilla limosa	$q_u = \frac{5}{N}$	(Kg/cm <sup>2</sup> )	TERZAGHI Y PECK
Arena limosa	$q_u = \frac{7.5}{N}$	(Kg/cm <sup>2</sup> )	TERZAGHI Y PECK
Loes	$q_u = \frac{4.5}{N}$	(Kg/cm <sup>2</sup> )	TERZAGHI

En todo caso sería naturalmente riesgoso e incluso peligroso, pretender deducir directamente  $N$  en una región donde no se hubiera realizado jamás ensayos previos comparativos.

Según GRAUX, se puede ligar la resistencia a la compresión simple de arcillas con el valor de  $N$  por medio de la siguiente relación:

$$Q_u = 0.133 N \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$



**Fig. N° 7.8 Correlación N –  $q_u$  y consistencia para arcillas (Terzaghi y Peck)**

## 7.5 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE UTILIZANDO SPT EN SUELOS

Una aplicación de los ensayos SPT es la de determinar la capacidad portante para suelos granulares y para suelos finos. También se utilizó SPT en el túnel. Se describe a continuación la metodología a usarse.

### 7.5.1 SUELOS GRANULARES

La capacidad de carga última ( $q_{ult}$ ) de un suelo (Terzaghi y Peck) puede establecerse a partir de las siguientes relaciones:

$$q_{net} = 2NB R_w + 6 (100 + N^2) DR_w \quad (\text{Zapatras cuadradas})$$

$$q_{net} = 3N^2 B R_w + 5 (100 + N^2) DR_w \quad (\text{Zapatras continuas})$$

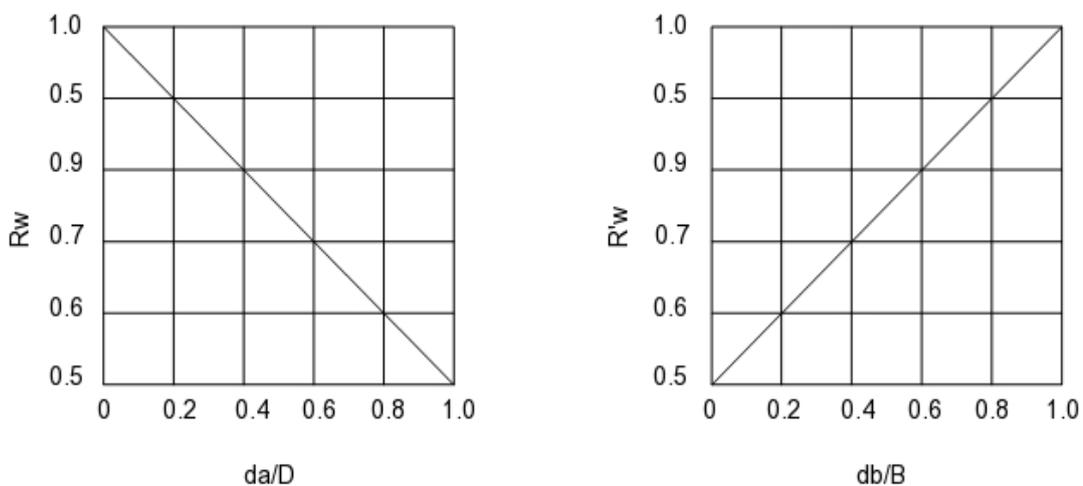
Dónde:

( $q_{ult}$ ) = capacidad de carga última (lb/pie<sup>2</sup>)

B = ancho de la fundación en pies

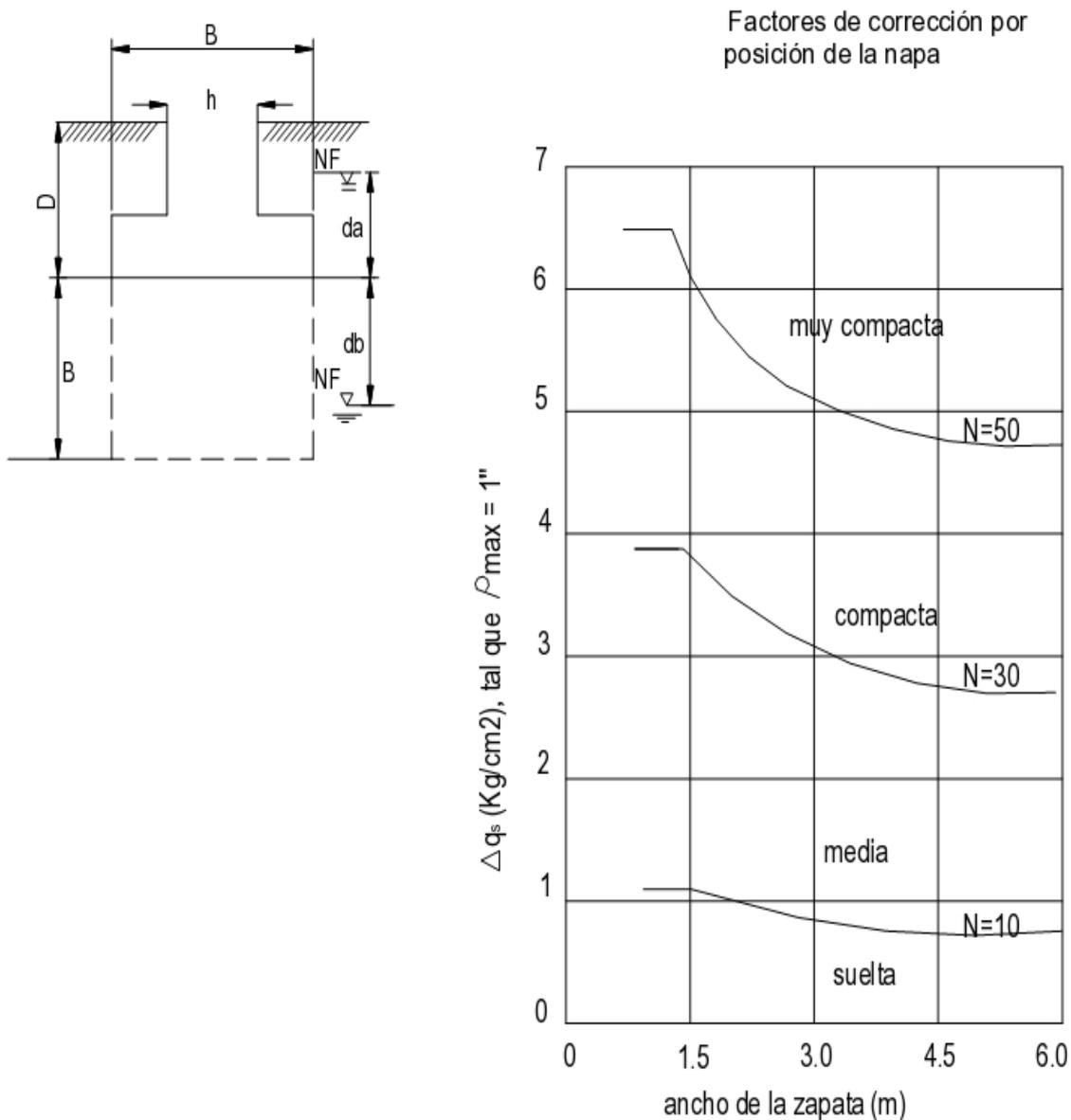
D = profundidad de la fundación (pies)

$R_w$  y  $R'_w$  = factores de corrección por la posición de la Napa



**Fig. N° 7.9 Factores de corrección por posición de la napa**

Terzaghi y Peck han correlacionado el ancho de la fundación para que con un valor de N dado, se obtenga una presión de contacto que produzca un asentamiento total máximo de 1", esta correlación se muestra en la figura 7.10, que es válida para arenas secas.



**Fig. N° 7.10 Relación  $\Delta q_s$ -N para zapatas en Arena (TERZAGHI PECK)**

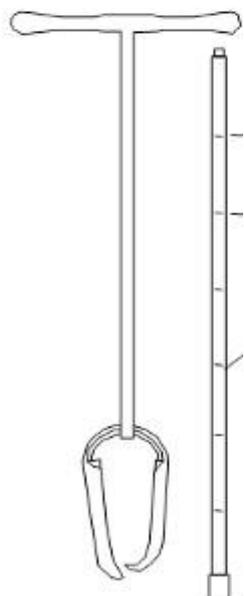
### 7.5.2 SUELOS FINOS

El ensayo de Penetración Standar fue ideado predominantemente para ser usado en suelos granulares, sin embargo, en trabajos de pequeña envergadura, puede conseguirse una menor economía utilizando un diseño conservador basado en resultados del SPT.

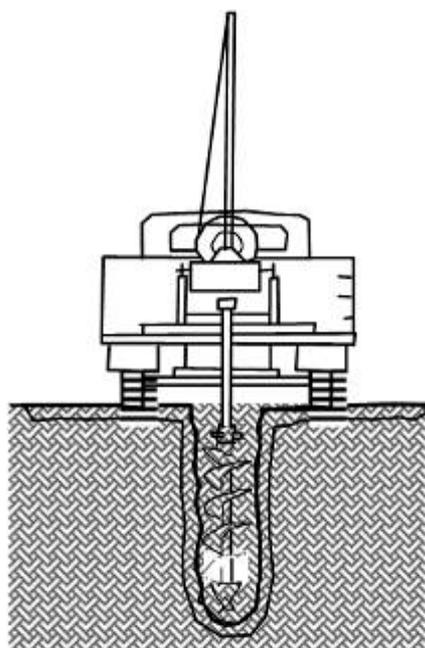
La tabla N° 7.4 proporciona una relación aproximada entre N, la consistencia y la capacidad de carga admisible ( $FS = 3$ ) de suelos arcillosos. Al aplicar estas relaciones no se tiene un control sobre la magnitud de los asentamientos y en consecuencia deben ser efectuados por algún método en particular.

CONSISTENCIA DEL SUELO	N (SPT)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE(T/pies <sup>2</sup> )	
		Zapata Cuadrada	Zapata Continua
Muy Blando	0 – 2	0.00 – 0.30	0.00 – 0.22
Blando	2 – 4	0.30 – 0.60	0.22 – 0.45
Mediano	4 – 8	0.60 – 1.20	0.45 – 0.90
Compacto	8 – 15	1.20 – 2.40	0.90 – 1.80
Muy Compacto	15 – 30	2.40 – 4.80	1.80 – 3.60
Duro	30	Mayor que 4.80	3.60

**Tabla N° 7.4 Relaciones entre  $q_{adm}$ , n, y la consistencia para suelos finos (TERZAGHI Y PECK)**



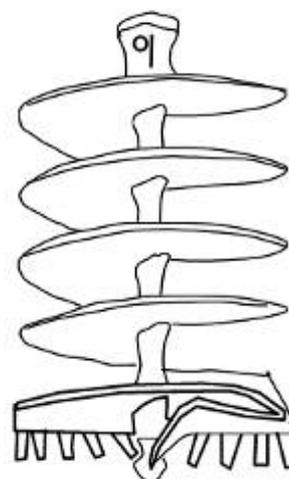
POSTEAD  
 $\phi$  3"-8"  
 Post hole Di



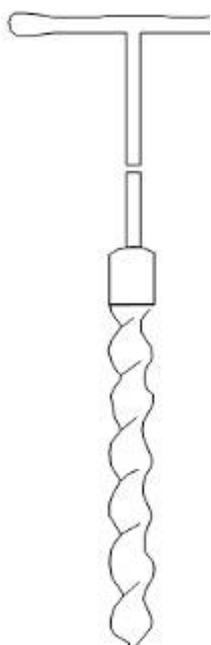
Máquina sobre camión  
 Truck mounted



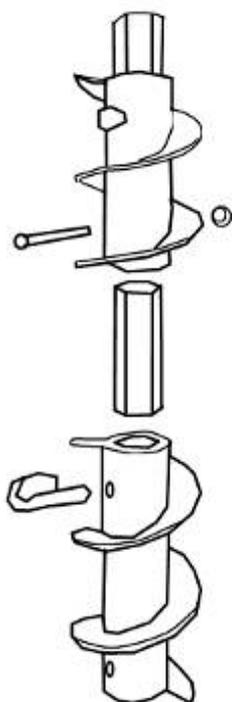
Cubo Caldwell  $\phi$  0.30 a 1.50 m  
 Caldwell Bucket



Tipo Warson  $\phi$  0.45 a 1.50 m  
 Watson Auger



$\phi$  2"-3 1/2"



$\phi$  4" - 6 3/8"

De eje hueco  
 Hollow Shaft



$\phi$  4 3/4" - 7 1/2"

Fig. N° 7-11 Taladros de Mano Hand Augersig - Taladros A Máquina  
 Machine Augers

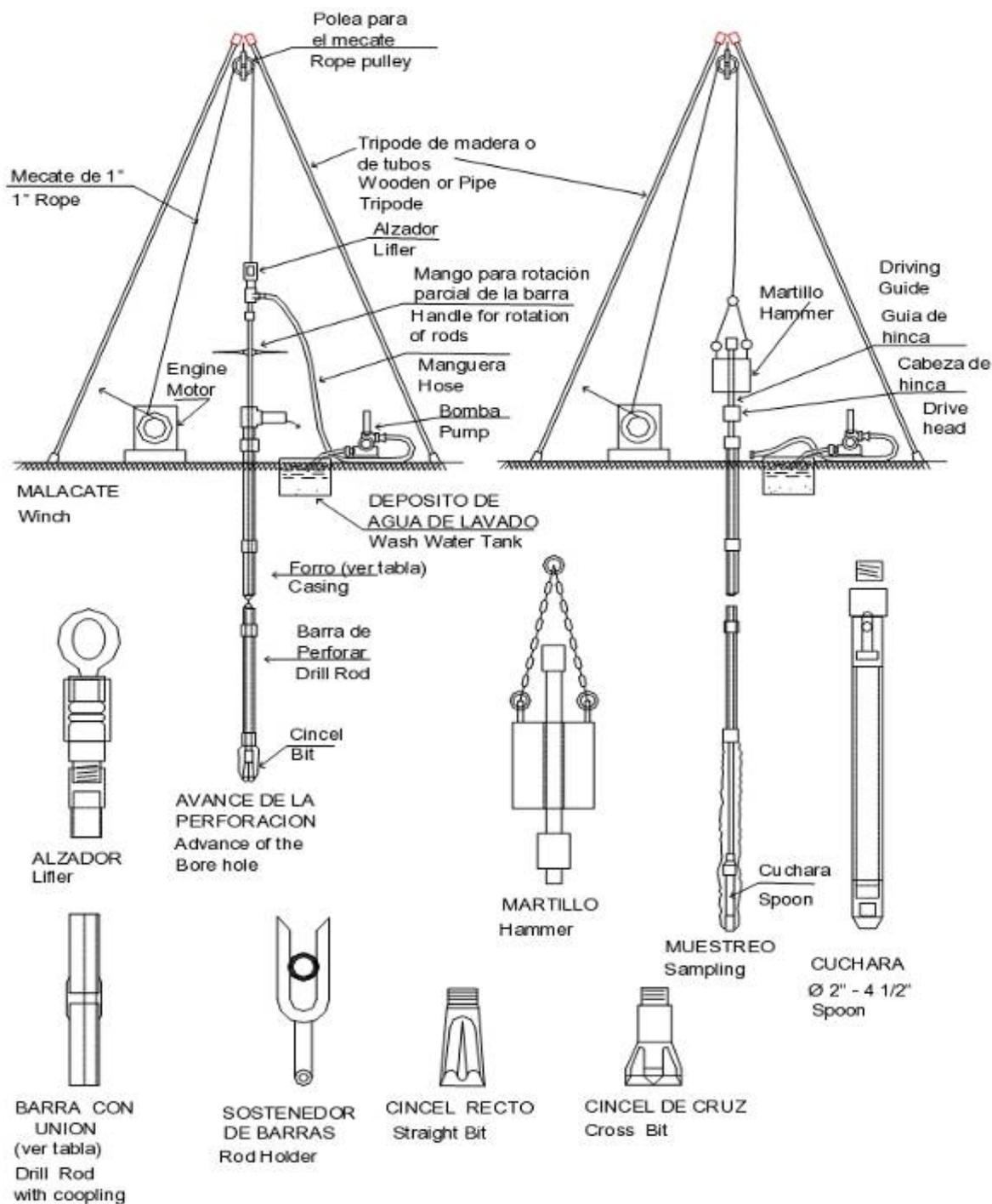
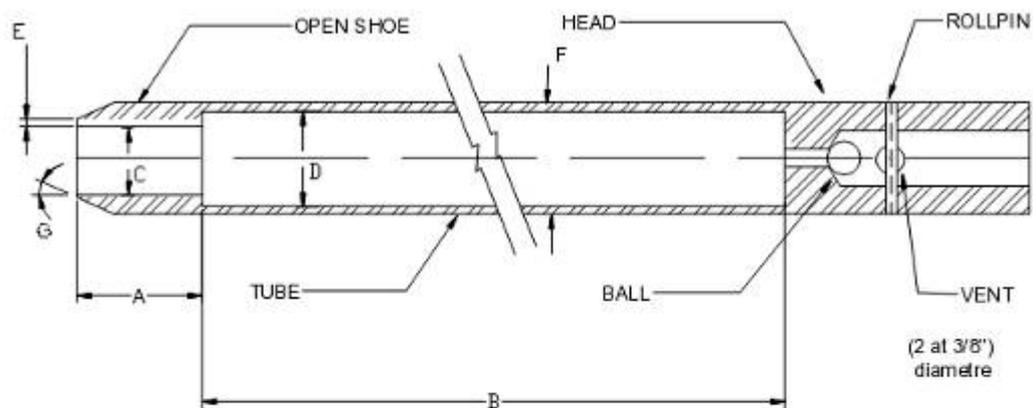


Fig. N° 7.12 Perforación En Tierra Soil Boring



A = 1.0 to 2.0 in. (25 to 50 mm)

B = 18.0 to 30.0 in. (0.457 to 0.762 m)

C =  $1.375 \pm 0.005$  in. ( $34.93 \pm 10.13$  mm)

D =  $1.50 \pm 0.05 - 0.00$  in. ( $38.1 \pm 1.3 - 0.0$  mm)

E =  $0.10 \pm 0.02$  in. ( $2.54 \pm 0.25$  mm)

F =  $2.00 \pm 0.05 - 0.00$  in. ( $50.8 \pm 1.3 - 0.0$  mm)

G =  $16.0^\circ$  to  $23.0^\circ$

Sacamuestras partido longitudinalmente, de 50 mm. de diámetro exterior, la punta o boquilla de hinca es de acero al cromo tungsteno y el cabezal con una válvula a bolilla. Variante sacatestigo de cuerpo entero, con tubo portamuestras con diámetro interno final 35mm.

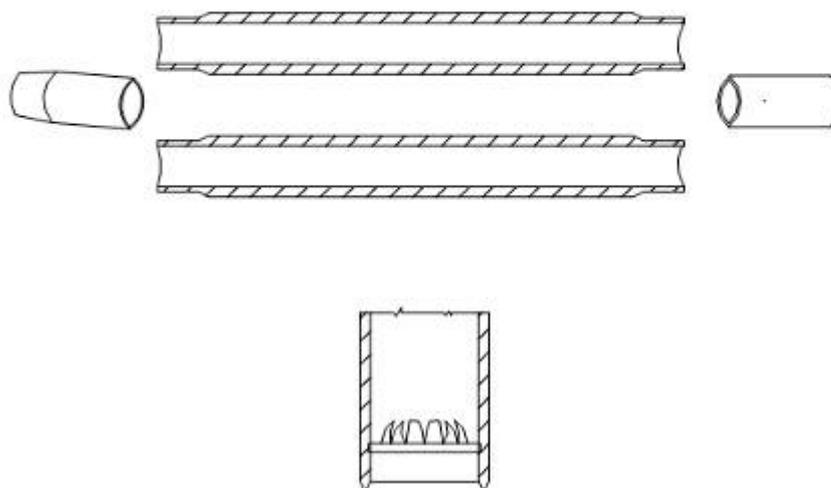


Fig. N° 7.13 Tubo Sacamuestras (Caña Partida de STP)

### 7.5.3 Ensayes SPT en el Túnel

Se efectuaron dos ensayos de Penetración Standard – STP de 6 m cada uno cerca a los sondajes SD8 y SD9 respectivamente.

Los tramos ensayados fueron niveles de suelo limo - arenoso, ligeramente arcillosos. Se comprobó en ambos casos, que el material perforado y los niveles ensayados poseen una capacidad portante bastante aceptable mayor de  $6.65 \text{ Kg/cm}^2$ .

Hacia la parte inferior fueron detectados valores mayores de 50 ( $N > 50$ ). En todos los tramos no se tuvo la presencia del nivel freático en los ensayos efectuados; el martillo rebotó sin lograr la penetración del muestreador, no se consiguió penetrar ni siquiera los primeros 15.0 cm. Utilizando la tabla de Terzaghi Peck se determina que estos materiales poseen una densidad relativa densa a muy densa.

## CAPITULO VIII

### CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

#### 8.1 GENERALIDADES

Las clasificaciones Geomecánicas del Macizo Rocosos son métodos simplificados para definir y controlar la estabilidad de las obras que se ejecuten en el macizo. La necesidad e importancia de un sistema de clasificación ha dado lugar a un gran número de artículos de varios autores; así se tienen entre los más destacados, los trabajos de Terzaghi (1946), Deere (1974), Stini y Lauffer, entre los más importantes. En la actualidad los de mayor aplicación son la Clasificación SCIR de Bienawski y la clasificación de NGI de Barton Lien y Lunde,

CLASIFICACIÓN	TERZAGHI	RABCEWICZ	LAUFFER	DEERE	CSIR	BENAWSKI (RMR)	WICKHAM	AFTES	NGI (Q)	LAUBSCHER	KRSTULOVIC	HG (GLSA)
RESISTENCIA					■	■		■		■	■	■
COMPRESIÓN					■	■		■		■	■	■
COHESIÓN Y FICCIÓN								■			■	
MODULO DE EASITICIDAD											■	■
ALTERACIÓN	■	■	■		■	■		■		■		■
R.Q.D.				■	■	■		■	■	■	■	■
Nº DE FAMILIAS					■		■		■	■		■
ESPACIAMIENTO					■	■	■	■		■		■
CONTINUIDAD					■	■	■			■		■
RELLENO						■	■		■	■		■
ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN					■	■	■			■		■
CONDICIÓN DE AGUA		■			■	■	■	■	■	■		■
STAND UP TAME		■	■									
LITOLÓGÍA							■					
CARGA DE LA ROCA	■	■							■		■	■
ESFUERZOS INDUCIDOS												■
VOLADURA										■		■

**Tabla Nº 8.1 Sistemas de Clasificación de Calidad de Rocas**

## **8.2. CLASIFICACIÓN CSIR – VALUACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: RMR**

El Concejo Sud Africano para las Investigaciones Científicas e Industrial (CSIR), sugiere que una clasificación de macizo rocoso debería:

- Dividir el Macizo Rocosos en grupos de comportamiento similar
- Proveer una buena base para el entendimiento de las características del macizo rocoso
- Facilitar el planeamiento y diseño de estructuras en roca, obteniéndose valores cuantitativos requeridos para la solución de problemas reales de ingeniería
- Prever una base común para las comunicaciones efectivas, entre todas las personas involucradas con problemas geomecánicos
- Para que estos objetivos sean cumplidos, la clasificación adoptada deberá ser simple y significativa en términos y además debe estar basada en parámetros medibles que puedan ser determinados rápidamente y a bajo costo

Para satisfacer estos requerimientos, Bieniawski propuso su clasificación geomecánica, incorporando, los siguientes parámetros:

- 1.- Calidad designada de roca (RQD)
- 2.- Estado de alteración
- 3.- Resistencia a la compresión Uniaxial de la roca intacta
- 4.- Espaciamiento de discontinuidades

- 5.- Orientación y buzamiento de discontinuidades
- 6.- Continuidad de las discontinuidades
- 7.- Separación de las discontinuidades
- 8.- Cantidad de caudal de aguas subterráneas

Después de haber adquirido experiencia con aplicaciones prácticas de esta clasificación, se modificó y se eliminaron ciertos parámetros, por lo que al final se redujeron a 5 parámetros básicos para la clasificación, que son los puntos 1, 3, 4, 6 y 8.

### 8.2.1 RESISTENCIA DE ROCA INTACTA

La tabla N° 8.2, muestra la resistencia a la comprensión de la roca intacta, la que también puede determinarse por el ensayo de carga puntual.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA PARA LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (PMa)	EJEMPLOS DE TIPO DE ROCA
Muy baja resistencia	1 – 25	Tiza, Rocas Salinas
Baja resistencia	25 – 50	Carbón, Lutita, Esquisto
Mediana resistencia	50 – 100	Areniscas, Pizarras
Alta resistencia	100 – 200	Mármol, Granito, Gneis
Muy alta resistencia	Mayor de 200	Cuarcita, Dolerita, Gabro, Basalto

**Tabla N° 8.2 Clasificación de resistencia para roca Intacta**

### 8.2.2 DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA

La aplicación de este concepto de designación de calidad de roca, dada su simpleza, fue ampliamente aceptada y de gran divulgación hasta el día de hoy.

Evidentemente la simplicidad del método involucra una serie de limitaciones puesto que no considera factores importantes como la orientación del sondaje en relación a los planos de debilidad, presencia de agua, material de relleno de fracturas, factores que definitivamente tienen influencia en la correcta clasificación del terreno.

Es recomendable determinar el RQD en base a testigos de diámetro igual o mayor a 100 mm, siempre se debe tener presente que la longitud del trozo es el doble del diámetro.

$$RQD(\%) = \frac{\sum LONG.total\ entrozos > 100\ mm}{LONG.total\ de\ Corrida} \times 100$$

Basándose en rangos de valores RQD, el medio rocoso es caracterizado según su calidad. Ver tabla N° 8.3.

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
100-90	MUY BUENA
90 – 75	BUENA
75 – 50	MEDIANA
50 – 25	MALA
25 - 0	MUY MALA

**Tabla N° 8.3 Calidad Designada de la Roca**

### 8.2.3 ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

El término discontinuidades es usado para designar a las fracturas, fallas, contactos litológicos, estratos, foliación y esquistosidad. El espaciamiento se mide por familias. Ver tabla N° 8.4

DESCRIPCIÓN	ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	GRADO DEL MACIZO ROCOSO
Muy ancha	>de 3.0 m	Sólido
Ancho	1 – 3.0 m	Masivo
Moderadamente juntos	0.30 – 1.0 m	Bloques/grietas
Junto	50mm – 300mm	Fracturada
Muy junto	<de 50mm	Triturada

**Tabla N° 8.4 Clasificación Para Espacios De Fracturas**

### 8.2.4 CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

Este parámetro toma en cuenta la abertura de las fracturas, su continuidad, rugosidad superficial, condición de las paredes (suave o dura), y la presencia de material de relleno en las fracturas.

### 8.2.5 CONDICIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Por cuanto la influencia del agua subterránea es muy importante en la estabilidad en las excavaciones, se toma en cuenta la Razón de Flujo en las aguas subterráneas. La Razón de Flujo entre la presión originada por el agua subterránea y el esfuerzo principal originado por el agua que va a soportar el túnel deben ser utilizados para la clasificación de Bieniawski

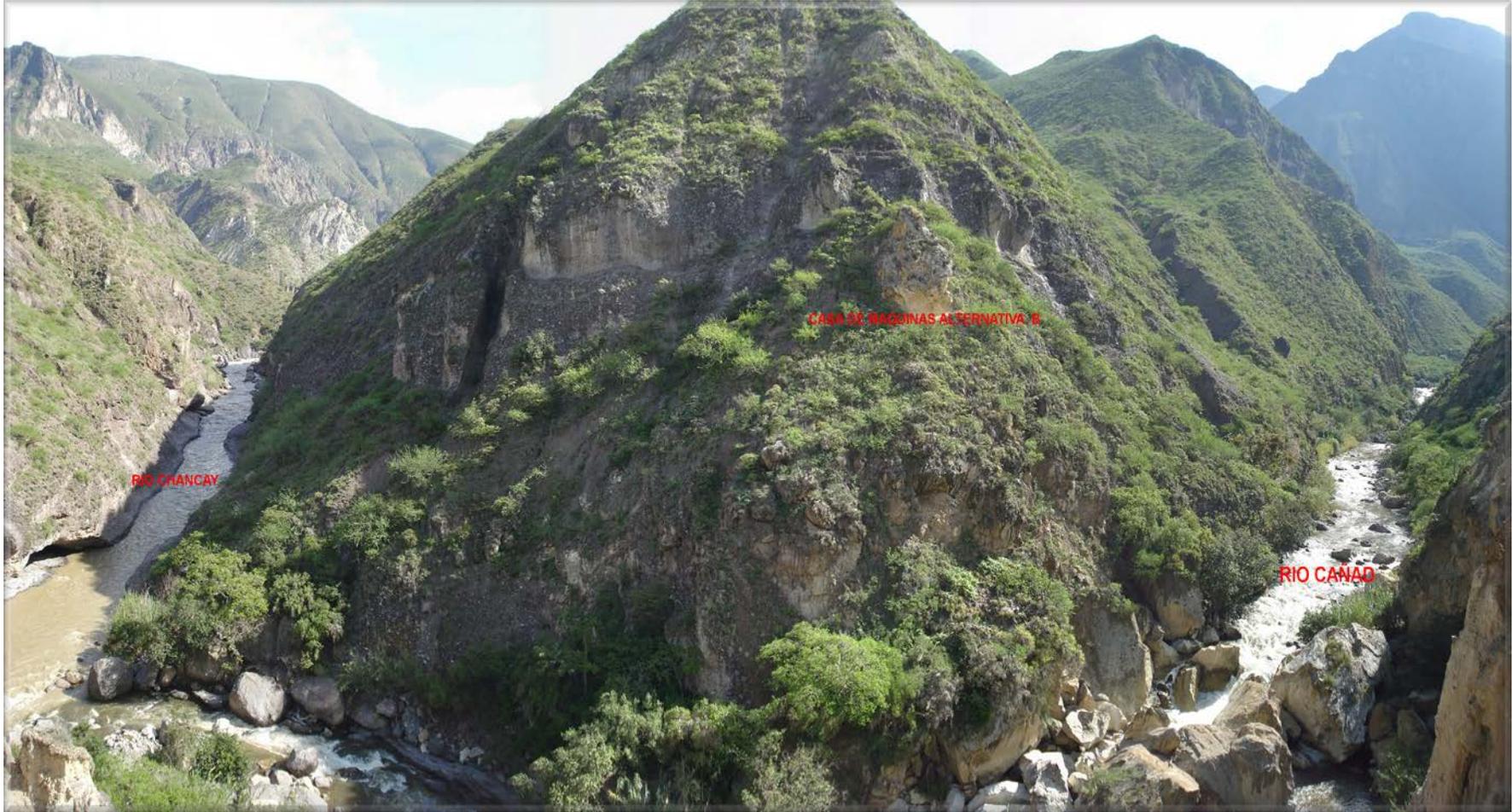


Foto N° 8.1: Vista Panorámica del Macizo Rocos

### 8.3 CLASIFICACIÓN RMR

La metodología de clasificación consiste en:

- Seleccionar para cada parámetro el valor (rating)
- La suma de total de estos valores (rating) clasificará a la roca en el correspondiente rango de calidad.

<b>A: PARAMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS INDICES</b>								
1	PARÁMETRO	RANGO DE VALORES				SE REQUIERE PRUEBA DE COMPRESIÓN UNIAXIAL		
	RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1- 2 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
	INDICE	15	12	7	4	2	1	0
2	CALIDAD DE TESTIGO DE PERFORACIÓN	90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	<25%		
	INDICE	20	17	17	13	4		
3	ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES	>2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	INDICE	20	15	10	8	5		
4	CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES ( Ver Tabla E)	MUY RUGOSAS NO CONTINUAS SIN SEPARACIÓN PARED DE ROCA INALTERADA	LIGERAMENTE RUGOSA SEPARACIÓN <1m m PARED DE ROCA LIGERAMENTE ALTERADA	LIGERAMENTE RUGOSA SEPARACIÓN <1m m PARED DE ROCA ALTAMENTE ALTERADA	SUPERFICIE DE ESPEJO DE FALLA O GOUGE < 5mm DE ESPESOR O SEPARACIÓN 1 - 5 mm CONTINUA	SUAVE GOUGE > 5mm DE ESPESOR O SEPARACIÓN 5 mm CONTINUA		
	INDICE	30	25	20	10	0		
5	FLUJO PARA 10m TÚNEL (L/m)	NINGUNO	< 10	10 - 25	25 - 125	>125		
	PRESIÓN DE AGUA EN LAS DISCONTINUIDADES DE SFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma$	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	CONDICIONES GENERALES	COMPLETAMENTE SECO	SEMI SECO	HUMEDO	GOTEO	FLUJO		
	INDICE	15	10	7	4	0		
<b>B : AJUSTE DE INDICE DE DISCONTINUIDADES</b>								
INDICE	ORIENTACIÓN DE STRIC Y DIP	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DE SFAVORABLE	MU Y DE SFAVORABLE		
	TÚNELES Y MINAS	0	-2	-5	-10	-12		
	CIMENTOS	0	-2	-7	-15	-25		
	INDICE	0	-5	-25	-50	-60		
<b>C : TIPOS DE MASA ROCOSA DETERMINADAS A PARTIR DEL INDICE TOTAL</b>								
INDICE	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<21			
NÚMERO DE CLASE	I	II	III	IV	V			
DESCRIPCIÓN	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE			
<b>D : SIGNIFICADO DE LOSTIPOS DE MASA ROCOSA</b>								
NÚMERO DE CLASE	I	II	III	IV	V			
PROMEDIO DE TIEMPO SIN SOSTENIMIENTO	20 AÑOS PARA 15m DE ABERTURA	1 AÑO PARA 10m ABERTURA	20 AÑOS PARA 15m DE ABERTURA	20 AÑOS PARA 15m DE ABERTURA	20 AÑOS PARA 15m DE ABERTURA			
<b>E : REGLAS PARA CLASIFICACIÓN DE DISCONTINUIDADES</b>								
INDICE	6	4	2	1	0			
PERCISTENCIA ( LONGITUINAL)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
INDICE	6	5	4	1	0			
SEPARACIÓN (ABERTURA)	NINGUNO	< 0.1 m	0.1 - 1.0 m	1.0 - 5.0 mm	>5.0 mm			
INDICE	6	5	3	1	0			
RUGASIDAD	MUY RUGOSA	RUGOSA	LIG, RUGOSA	LISA	ESPEJO FALLA			
INDICE	6	4	2	2	0			
RELLENO	NINGUNO	R. DURO >5mm	R. DURO < 5 mm	R. SUAVE < 5mm	R. SUAVE > 5mm			
INDICE	6	5	3	1	0			
ALTERACIÓN	INALTERADA	LIG. ALTERDA	MOD, ALTERADA	ALT. ALTERADA	DESCOMPUESTO			

Tabla Nº 8.4 Clasificación Geomecánica según Bienanwasi (RMR)

## **CAPITULO IX**

### **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EJECUTADOS**

En el presente capitulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación efectuada en los diferentes frentes del proyecto.

#### **9.1 PRESA, TOMA Y CANAL DE DESVÍO**

Los ensayos de permeabilidad en el área de la Presa, Toma y Canal de Desvío fueron del tipo Lugeon.

El tramo para el ensayo fue de 5 m, aunque con una excepción en uno de los tramos, sin embargo no en todos los ensayos se pudo alcanzar las presiones programadas.

En el área de presa se observo que los valores de permeabilidad obtenidos en el basamento rocoso obedecen a la regla general de hidrogeología normal, es decir que los valores de permeabilidad mejoran en función de la profundidad; se obtuvieron valores de E-05 a E-06 hacia el tope de los sondeos.

En los diferentes sondeos, para los primeros tramos de perforación fue imposible realizar las Pruebas de Ensayo Lugeon, debido a que en dichos tramos el macizo rocoso está bastante fracturado por las detonaciones que realizaron para los ensayos de pruebas sísmicas, lo que muy posiblemente ha variado los factores de permeabilidad. En los sondeos SD2, SD4 y SD6 se realizaron Pruebas de Ensayo Lugeon en los primeros tramos, y en los tramos intermedio de los sondeos el macizo está bastante

fallado, pero mejorando al tope de los sondeos. En los sondeos SD1, SD2, SD3, SD5 y SD7 que se realizaron después de las detonaciones para los ensayos de pruebas sísmicas, el macizo rocoso cambio su comportamiento, no fue posible realizar las pruebas de ensayo Lugeon, ya que no se pudo alcanzar las presiones proyectas.

Cabe resaltar que los valores de permeabilidad obtenidos en roca, oscilan entre 0 y 5 UL\*, que indica que la permeabilidad es favorable a muy favorable, con fines de estanqueidad del vaso, tomando en cuenta las salvedades del caso.

El tipo de flujo predominante en los ensayos son tipo Laminar, donde la absorción es proporcional a la presión efectiva, este hecho se debe a que las fracturas son finas y el relleno es granular, y consecuentemente el consumo por fractura es igual. También se presenta de tipo Relleno, donde las fracturas se semi cierran o taponean a medida que transcurre el ensayo, por efecto de redepositación del material erosionado que rellena las fracturas.

## **9.2 TÚNEL**

Cabe señalar que los sondeos (SD8 y SD9) fueron ejecutados en depósitos de granulometría heterométrica (suelos granulares), a las profundidades proyectadas de los sondeos no se llegó a alcanzar el macizo rocoso, por lo que no se pudo realizar las pruebas del tipo Lugeon.

### 9.2.1 ENSAYO TÚNEL

Ensayos de Penetración Estándar – STP se ejecutaron en el sector proyectado como Túnel, específicamente el SPT1, se ubicó cerca al sondeo SD8 y el SPT2 cerca del sondeo SD9, realizándose un sondeo de 6 m de profundidad para el ensayo de SPT en cada punto, programándose el ensayo en cada metro a partir de un metro de profundidad.

Los tramos ensayados fueron niveles de suelo limo - arenoso, ligeramente arcilloso para ambos casos, en esta área se comprobó que el material perforado y los niveles ensayados poseen una capacidad portante bastante aceptable, cuyo valores están comprendidos entre 3.76 y 9.70 Kg/cm<sup>2</sup>.

Hacia la parte inferior fueron detectados valores mayores de 50 (N>50), en todos estos tramos no se tenía la presencia del nivel freático en los ensayos efectuados, el martillo rebotaba sin lograr la penetración del muestreador, no consiguió penetrar inclusive los primeros 15 cm. Según la tabla de Terzaghi Peck (Tabla N<sup>o</sup> 7.4) estos materiales poseen una densidad relativa densa a muy densa.

TRAMO DE ENSAYO (m)	ENSAYO N <sup>o</sup>	RESULTADO	OBSERVACIÓN
1.0 – 1.45	1	15/8, 15/9, 15/17	N=26
2.0 – 2.45	2	15/11, 15/27, 15/46	N=>50 (Rebote)
3.0 – 3.45	3	15/24, 15/40, 15/50	N=>50 (Rebote)
4.0 – 4.45	4	15/25, 15/28, 15/29	N=>50 (Rebote)
5.0 – 5.45	5	15/25, 15/30,15/43	N=>50 (Rebote)
6.0 – 6.45	6	15/40, 15/50	N=>50 (Rebote)

**Tabla N<sup>o</sup> 9.1 Ensayo de Penetración Estándar – SPT 1**

TRAMO DE ENSAYO (m)	ENSAYO N°	RESULTADO	OBSERVACIÓN
1.0 – 1.45	1	15/12, 15/13, 15/14	N=27
2.0 – 2.45	2	15/4, 15/6/, 15/12	N=18
3.0 – 3.45	3	15/32, 15/31/, 15/36	N=>50 (Rebote)
4.0 – 4.45	4	15/24, 15/30	N=>50 (Rebote)
5.0 – 5.45	5	15/22, 15/27, 15/35	N=>50 (Rebote)
6.0 – 6.45	6	15/15/15/49/, 15/19	N=>50 (Rebote)

**Tabla N° 9.2 Ensayo de Penetración Estándar-SPT 2**

### 9.3 CHIMENEA DE EQUILIBRIO

En este sector elegido para la Chimenea de Equilibrio, se realizó un sondeo (SD10) en macizo rocoso de toba de andesita, en la superficie está afectado por el intemperismo y a medida que se profundiza, la calidad del macizo rocoso empeora, posiblemente todo este sector ha sido afectado por el fallamiento regional, y este sector posiblemente sea una zona de arrastre de falla, como se observa en los testigos de perforación obtenidos, lo que dificultó la perforación, es decir el agua refrigerante no cumplió su cometido porque se perdía por las fracturas, por lo tanto no se pudo realizar los ensayos del tipo Lugeon, pero al final del tramo se realizó para ver el consumo de agua, dando como resultado un consumo de 97 litros por minuto.

## **9.4 CASA DE MÁQUINAS**

Para la casa de máquinas se investigaron dos alternativas.

### **9.4.1 ALTERNATIVA A**

En este sector proyectado como casa de máquinas se ejecutó un sondeo (SD12), el sondeo se realizó principalmente en depósitos de material de cobertura compuesto por grava - areno limosa, de color pardo claro, con clastos sub-angulosos, con presencia de bolones en proceso de transformación a suelos. Al final del sondeo en el tramo comprendido entre los 37.7 a 41.1 m se atravesó una roca volcánica de grano fino de color negro, las finas fracturas están rellenos por carbonatos, también cabe mencionar que el sector es bastante vulnerable por las escorrentias y quebradas existente en el sector, es decir que estas en cualquier momento se pueden reactivar, y afectar a la posible casa de máquinas.

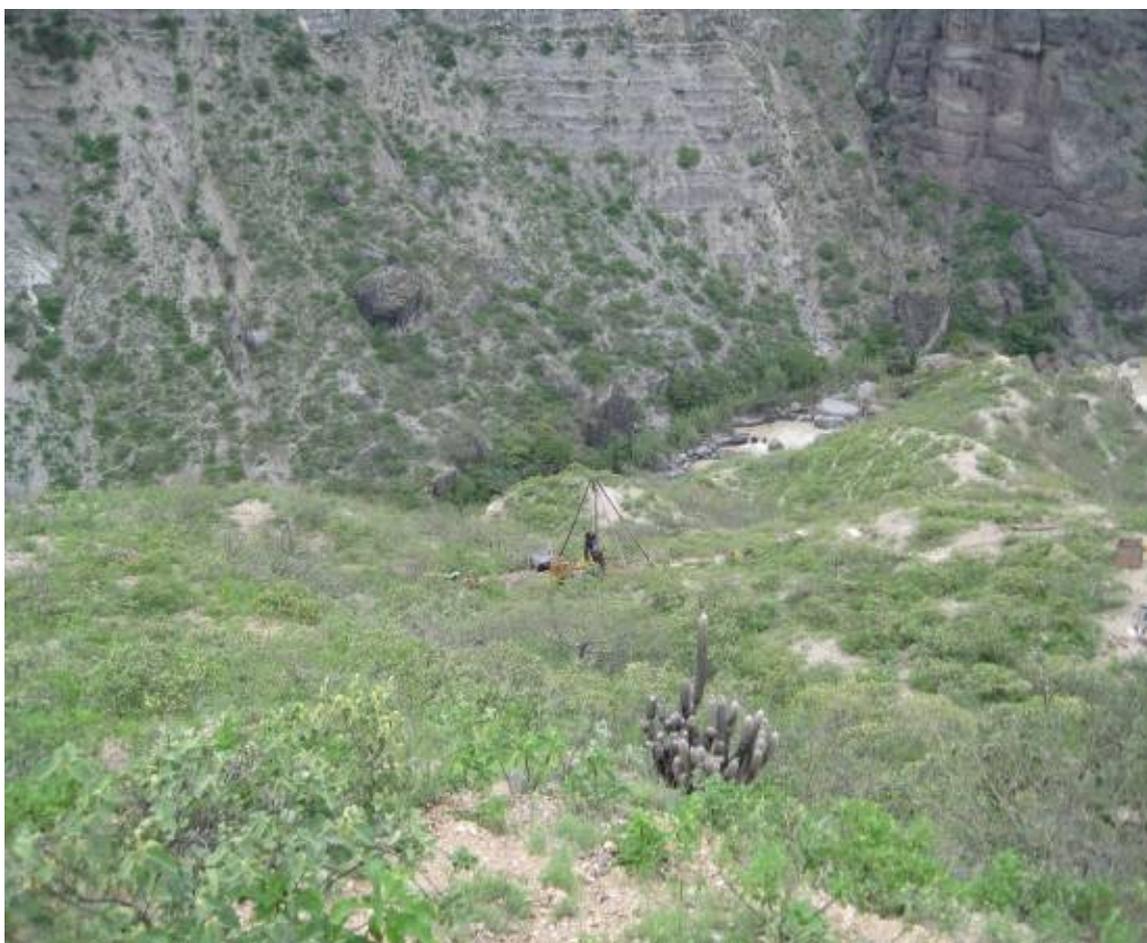
### **9.4.2 ALTERNATIVA B**

En este sector proyectada como casa de máquinas se ejecutó un sondeo (SD11), en esta área fueron definidos hasta dos niveles estratigráficos bien diferenciables, ya sea por su composición litológica y sus características físicas.

Al inicio se atravesó una roca volcánica (toba de riolita), de color pardo claro, de aspecto masivo, textura holocristalina, matriz de grano fino, poco fracturado, ligeramente meteorizado, resistente, de una potencia de aproximada de 7.9 m.

Después de los 7.90 m continua, la roca volcánica (toba de andesita), con características obtenidas en el sondeo SD10, confirmando que el sector es una zona de arraste de falla.

Por las condiciones mencionadas líneas arriba, tampoco fue posible realizar los ensayos de permeabilidad del tipo Lugeon, al final se realizó una prueba para ver el consumo, dando un consumo de 58.0 litros por minutos.



**Foto N° 9.1 Sondeo DS12- Casa de Máquinas Alternativa A**

### RESULTADOS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD – SONDEOS ROTATIVOS

SONDEO No	ENSAYO No	TRAMO (m)	TIPO DE ENSAYO	U.L.	PERMEABILIDAD
SD1	1	25.20 – 30.20	CONSUMO 25 litros x min.		
SD2	1	15.0 – 20.0	LUGEON	3.59	4.7*10E-05 cm/seg.
	2	20.0 – 25.0	LUGEON	3.45	4.48*10E-05 cm/seg.
	3	25.2 – 30.2	LUGEON	0.59	7.67*10E-06 cm/seg.
SD3	1	10.0 – 15.0	LUGEON	5.31	6.9*10E-05 cm/seg.
	2	25.0 – 30.0	CONSUMO 60litros x min		
SD4	1	10.0 – 15.0	LUGEON	0.54	7.02*10E-06 cm/seg.
	2	20.0 – 25.0	CONSUMO 51litros x min		
	3	25.0 – 30.0	LUGEON	1.91	2.5*10E-05 cm/seg.
SD5	1	21.0 – 25.0	LUGEON	0.14	1.82*10E-06 cm/seg
	2	25.3 – 30.3	LUGEON	10.41	1.35*10E-04 cm/seg.
SD6	1	11.0 – 16.0	LUGEON	6.4	8.32*10E-05 cm/seg.
	2	16.0 – 21.0	CONSUMO 66.1litros x min		
	3	21.0 – 25.0	LUGEON	7.0	9.1*10E-04 cm/seg.
SD7	1	28.0 – 33.0	CONSUMO 49.2 litros x min		
	2	33.038.0	CONSUMO 43.4 litros x min		
	3	55.2 – 60.2	LUGEON	5.4	7.01*10E-04 cm/seg.
SD10	1	50.0 – 60.0	CONSUMO 97.0 litros x min		
SD11	1	25.0 – 30.0	CONSUMO 57.9 litros x min		

**Cuadro N° 9.1 Resultados De Ensayos De Permeabilidad – Sondeos Rotativos**

En el cuadro no se considera los ensayos que no se concluyeron por no alcanzar las presiones proyectadas.

## 9.5 CLASIFICACIÓN CSIR GEOMECÁNICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Seguidamente se muestra la metodología de la Clasificación Geomecánica CSIR que consta de la determinación de cinco parámetros básicos mínimos, que al final constituirán la valoración del macizo rocoso (RMR).

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	68.92	7
RQD	50 – 75 %	17
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	1 – 3 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente rugosa	20
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Flujo	0
RMR BÁSICO		49

**Corrección por orientación de fisuras**

**Regular = -7**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
REGULAR	III	42

**Cuadro N° 9.2 SONDEO SD1-A**

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	120.27	12
RQD	50 – 75 %	17
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	1 – 3 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	20
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Flujo	0
RMR BÁSICO		54

**Corrección por orientación de fisuras**

**Regular = -7**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
REGULAR	III	47

Cuadro N° 9.3 SONDEO D1-B

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	72.35	7
RQD	90 – 100 %	20
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	2 – 4 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	seco	15
RMR BÁSICO		64

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = -2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	62

Cuadro N° 9.4 SONDEO SD2

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	80.27	7
RQD	75 – 90 %	17
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	2 – 4 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Flujo	0
RMR BÁSICO		54

**Corrección por orientación de fisuras**

**Regular = -7**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
REGULAR	III	47

Cuadro N° 9.5 SONDEO SD3

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	64.70	7
RQD	90 – 100 %	20
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	1 – 3 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Húmedo	7
RMR BÁSICO		64

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = -2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	62

**Cuadro N° 9.6 SONDEO SD4**

CLASIFICACIÓN DE OS PARÁMETR		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	92.30	7
RQD	75 – 90 %	17
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	1 – 3 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Seco	15
RMR BÁSICO		69

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = - 2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	67

**Cuadro N° 9.7 SONDEO SD5**

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	64.70	7
RQD	90 – 100%	20
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	1 – 3 cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	seco	10
RMR BÁSICO		67

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = - 2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	65

**Cuadro N° 9.8 SONDEO SD6**

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	77.79	7
RQD	75 – 90 %	17
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	<3cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	seco	15
RMR BÁSICO		69

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = - 2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	67

**Cuadro N° 9.9 SONDEO SD7**

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	198.95	12
RQD	25 – 50 %	13
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	< 4cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Ligeramente Rugosa	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Completamente Seco	15
RMR BÁSICO		70

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = - 2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	68

**Cuadro N° 9.10 SONDEO SD10**

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	42.78	4
RQD	25 – 50 %	13
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	<4cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Muy Rugosa	30
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Completamente Seco	15
RMR BÁSICO		67

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = - 2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	65

**Cuadro N° 9.11 SONDEO SD11-A**

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS		
PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALORACIÓN
RESISTENCIA DE LA ROCA	111.36	12
RQD	75 – 90 %	17
ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS	< 5cm	5
CONDICIÓN DE FRACTURAS	Muy Rugosa	30
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Completamente Seco	15
RMR BÁSICO		79

**Corrección por orientación de fisuras**

**Favorable = - 2**

CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
BUENA	II	77

**Cuadro N° 9.12 SONDEO SD11-B**

SONDEO	CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR
SD1- A	REGULAR	III	42
SD1 - B	REGULAR	III	47
SD2	BUENA	II	62
SD3	REGULAR	III	47
SD4	BUENA	II	62
SD5	BUENA	II	67
SD6	BUENA	II	65
SD7	BUENA	II	67
SD10	BUENA	II	68
SD11 - A	BUENA	II	65
SD11 - B	BUENA	II	77

**Cuadro N° 9.13 Resumen Clasificación CSIR Geomecánica del Área de Investigación**

## 9.6 EXCAVACIONES MANUALES: CALICATAS

Con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área en estudio se han realizado seis (06) calicatas o pozos a cielo abierto, distribuidos convenientemente en el área en estudio, obteniendo los siguientes resultados:

CALICATA	COORDENADAS		PROFUNDIDAD m	PESO ESPECIFICO Kg/cm <sup>2</sup>	DENSIDAD NATURAL	COTENIDO HUMEDAD (%)	SUCS	CAPACIDAD DE CARGA Kg/cm <sup>2</sup>
	N	E						
CAL1	9267273.20	721546.45	3.00	2.623	1.60	6.9	SM	4.79
CAL2	9237220.66	721571.07	4.75	2.621	1.65	2.3	GW-GM	9.7
CAL3	9265513.00	719891.00	3.00	2.61	1.72	6.6	SM	3.76
CAL4	9265444.72	719823.72	2.30	2.621	1.63	7.1	GM	5.57
CAL5	9265406.63	719786.32	3.30	2.681	1.62	4.8	SM	7.47
CAL6	9265290.37	719815.12	4.20	2.676	1.65	4.7	SM	8.29

**Cuadro N° 9.14 Resumen de Resultados de Calicatas**

## 9.7 PRINCIPALES DIFICULTADES Y SOLUCIONES DURANTE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN

El principal problema fue la movilización del equipo y accesorios de perforación a los puntos de sondeo debido a la topografía accidentada y las distancias recorridas. La falta de herramientas adecuadas para adquirir o alquilar en la zona fue complicado, por ser una población dedicada netamente a la agricultura y a la ganadería. Se tenía que conseguir y trasladar el material desde Lima o Chiclayo.

Después de las consideraciones y evaluaciones se optó por trasladar los equipos, repuestos de maquinaria y herramientas necesarios para

realizar las operaciones tanto para la movilización y operaciones de perforación desde Lima.

En los sectores de sondeo los problemas presentados durante las operaciones de perforación fueron mínimos y se mencionan a continuación.

- El principal problema presentado fue la realización del ensayo de permeabilidad Lugeon, porque el macizo rocoso, en la mayoría de los tramos se encuentra muy fracturado no llegando a alcanzar las presiones proyectadas, por lo que no se pudo concluir con el ensayo, solo se tomo la lectura de consumo de agua por el lapso de 5 ó 10 minutos.
- Otro problema importante fueron los derrumbes del material aluvial, la sobre carga existente en el sector y el hecho de que los sondeos eran inclinados, principalmente en la margen derecha del Río Chancay. La mayor pérdida de tiempo fue ocasionada al momento de revestir zonas ya perforadas en las cuales el “techo” o pared superior del sondeo se derrumbaba. A este hecho hay que agregar la agresividad que presentaban los fragmentos de roca.
- La definición del tipo de broca a emplear fue materia de evaluación.
- El empleo del Casing de avance se vio imposibilitado por la presencias de bolos y cantos de dureza media y diámetro variado. Por otro lado se vio limitado el empleo del Casing por la no existencia de accesorios adecuados para este tipo de operaciones.

- Se presentaron pérdidas de agua intermitentes en los primeros metros para posteriormente en profundidad perderse por completo, que ocasionaba una mala limpieza del sondeo.
- La mala lubricación de la tubería o columna de perforación golpeaba constantemente las paredes del sondeo produciéndose derrumbes.
- El sondeo SD10 tuvo mayor problema por lo fracturado que se encuentra el macizo rocoso. El empleo del Casing de avance por la presencia de fragmentos de roca y la pérdida de agua de perforación en el sondeo, origino una mala limpieza, produciendo el atrapamiento de la tubería. Otra limitación fue la no existencia de trépanos o triconos apropiados para destruir el material de derrumbes, la supervisión sugirió cementar el sondeo, pero como la perdida de agua era total, no se vio por conveniente cementar, y ante esta eventualidad y asumiendo todos los riesgos se continuo con la perforación y se lleo a la profundidad proyectada, al final se dificulto la liberación de la tubería. En este sondeo fue imposible realizar los ensayos de permeabilidad Lugeon, por las apreciaciones antes mencionadas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El conocimiento de los aspectos geológicos del proyecto descritos anteriormente, permite anticipar de manera razonable las condiciones del suelo y subsuelo en los sitios de emplazamiento de las diferentes obras, en la fase actual de evaluación de las alternativas técnicas.

Determinada la alternativa elegida, para la definición y diseño de construcción correspondientes, se deben complementar las investigaciones del subsuelo realizadas, con investigaciones adicionales de perforaciones a diamantina, calicatas, laboratorio de suelos y rocas, según sea necesario, en los siguientes sitios de obra:

- a) Sitio de presa y toma
- b) Sector de canal (en la alternativa 1)
- c) Portales de entrada y salida
- d) Cámara de carga y chimenea de equilibrio
- e) Ladera por donde bajará la tubería forzada hacia el río Cañad
- f) Sitios de apoyo del puente sobre el río Cañad
- g) Casa de Máquinas y Sub Estación

2. La Investigación Geológica – Geotécnica realizada en el Proyecto C.H. Las Pizarras permite actualizar, ampliar el conocimiento y aclarar la identificación que existía de los materiales, identificándose dos unidades geotécnicas principales, una constituida por suelos coluviales y residuales, y otra constituida por rocas.

### **3. Presa, Toma y Canal de Desvío**

En base a los criterios de naturaleza litológica, identificación y comportamiento mecánico es posible diferenciar los materiales detectados en los reconocimientos en una serie de niveles relativamente homogéneos.

#### **Unidad Geotécnica I**

Material reciente constituido por depósitos coluviales, conformado por granulometría heterométricos de fragmentos de roca, en una matriz de limo inorgánico ligeramente arcillosa de cementación media a alta.

Se halla en las márgenes del Río Chancay, con una densidad que varía entre 1.60 a 1.65 gr/cm<sup>3</sup> y la Capacidad de Carga de 2.60 kg /cm<sup>2</sup> a profundidad comprendida entre 3 a 5 m.

De acuerdo a la clasificación de suelos del Sistema AASHTO, esta unidad se encuentran en la calidad de Regular (A 4-(0)) en los suelos finos, y Excelente (A-1-a (0)) en los suelos gruesos, como terreno de fundación.

#### **Unidad Geotécnica II**

Esta unidad se compone de roca sedimentaria del tipo caliza. Esta roca es fosilífera con presencias evidente de bioformas (moluscos) reemplazadas por carbonatos, no presenta orientación definida, resistente, medianamente fracturada y alterada en superficie y presenta una estratificación de arenisca, fresca, moderadamente dura, de una potencia promedio de 1 m.

De acuerdo a la Clasificación CSIR Geomecánica, esta unidad es de Regular a Buena.

#### **4. Túnel**

En base a la investigación realizada en esta área y los criterios de naturaleza litológica, identificación y comportamiento mecánico es posible diferenciar un material relativamente homogéneo.

##### **Unidad Geotécnica I**

Constituido por Material Reciente, está representado por depósitos coluviales, cuyo espesor no se definió durante los sondeos realizados, posiblemente sea mayor a los 30 m, está cortado por algunas quebradas afluentes del Río Cañad. Las características del material es denso a muy denso.

#### **5 Chimenea de Equilibrio**

En esta área de investigación se logro determinar una sola unidad: **Unidad Geotécnica I**, constituida por un macizo rocoso de Toba de Andesita, textura brechosa, producto de una posible zona de falla, los clastos se encuentran silicificados.

#### **6. Casa de Máquinas**

##### **6.1 Alternativa A**

En base a la investigación realizada se ha determinado dos unidades geotécnicas.

##### **Unidad Geotécnica I**

Material Reciente de granulometría heterométrica, englobado en una matriz areno-limoso, con presencia de fragmentos de roca en proceso de transformación a suelo.

Confirmado en el sondeo SD12 y las calicatas CAL5 y CAL6, cuya densidad varía entre 1.62 a 1.65 gr/cm<sup>3</sup> y la Capacidad de Carga de 7.47 a 8.29 kg/cm<sup>2</sup> a profundidad comprendida entre 3 a 5 m.

De acuerdo a la clasificación de suelos del Sistema AASHTO se encuentra en la calidad Excelente (A-1-b(0)), como terreno de fundación.

### **Unidad Geotécnica II**

Roca caliza masiva, de color gris negruzco, de grano fino, resistente, poco competente, con el corte de la broca de perforación es fracturada (fracturas mecánicas), las fracturas son concoidales.

## **6.2 Alternativa B**

En base a la investigación realizada se ha determinado dos unidades geotécnicas de roca.

### **Unidad Geotécnica I**

Constituido por un Tufo de Riolita, de aspecto masivo, de textura holocristalina de grano fino a medio sub-angulosos, de matriz afanítica de composición riolítica, resistente. De acuerdo a la Clasificación CSIR Geomecánica esta unidad es Buena.

### **Unidad Geotécnica II**

Roca volcánica (toba de andesita) de color pardo oscuro violáceo, de textura halocristalina, de fragmentos heterométricos sub-angulosos, de

matriz afanítica de composición andesítica, de aspecto brechoide producto de la zona de falla, resistente a golpe de martillo. De acuerdo a la Clasificación CSIR Geomecánica esta unidad es Buena.

## **7. Comportamiento del Suelo como material de cimentación**

Los depósitos coluviales que yacen en fondo y los flancos del valle, tiene características de regulares a excelentes como material de cimentación.

Como capacidad de carga, cabe aclarar que en estos depósitos no se han realizado ensayos de permeabilidad (tipo Lefran), específicamente en el área proyectada para presa estos depósitos son de poco espesor lo más conveniente es eliminarse.

Tener consideración especial en cuanto a las quebradas y torrenteras existente, es una zona altamente vulnerable, que en cualquier momento se pueden reactivar por los cambios climáticos, y afectar las obras proyectadas.

## **8. Comportamiento de Roca**

El conocimiento de los aspectos geológicos del proyecto descritos anteriormente, permite anticipar de manera razonable las condiciones del subsuelo principalmente en la roca caliza, por lo general los carbonatos que los constituyen son fácilmente alterables, por lo que hay que tener consideración especial para la ejecución de obras, en cuanto a las roca volcánicas no se necesita tener mucha consideración, salvo por estar emplazada en una zona de falla, que es fácilmente controlable.

## **9 Nivel Freático**

Se han tomado las medidas de nivel de agua en cada uno de los sondeos realizados, al inicio de la perforación y una vez finalizados los mismos, obteniéndose los siguientes resultados: SD1 a los 23.50 m, SD2 a los 6 m, SD3 a los 2.65 m, SD4 a los 1.93 m, SD5 a los 5.10 m y SD6 a los 5.50 m, en los sondeos restantes realizados no se llegó a alcanzar el nivel freático, posiblemente se encuentra por debajo de los niveles perforados por estar alejado del cauce del río.

Con respecto a los valores de nivel freático obtenidos es preciso indicar las siguientes consideraciones:

- Dado que los sondeos de perforación han sido realizados con agua, esto ha podido influir en el nivel obtenido. Para evitar esta influencia se realizó un seguimiento de su evolución del nivel freático durante el tiempo de ejecución del sondeo.
- También se tuvo en consideración para interpretar el nivel obtenido la posibilidad de la influencia en el mismo por efectos externos a la propia perforación, que podrían indicar un falso nivel freático, como su proximidad al cauce del río, y/o la interconexión de sondeos de perforación por fisuras y fallas.

## **10 Calculo de Capacidad de Carga de suelos**

Se usó la teoría de MEYERHOFF, para considerar la capacidad de carga admisible final, tuvo en consideración las correcciones de seguridad ( $F_s$ ) y de horizontalidad ( $F_h$ ).

## BIBLIOGRAFIA

1. ALBARRAN ASCENCIO, J. (1983), "Exploración, Muestreo y Ensayo Geotécnico". División de Educación Continua. Facultad de Ingeniería. UNAM, México.
2. AREVALO O.C. (1987), "Modelo de Investigaciones Geológico-Geotécnicas de Macizos Rocosos". Tesis UNMSM, Lima.
3. HOULSBY A.C. (1976), "Routine Interpretation of the Lugeon Water Test". Engng, Geol. Vol 9. Irlanda del Norte.
4. LONGYEAR (1981), "Manual de Campo: Herramientas de Diamante para Prospección Geológica". Longyear de México S.A.
5. MICHELENA C.R. (1986), "Exploración de Suelos. Diseño y Construcción de Cimentaciones".  
Comité Peruano de Mecánica de Suelos, Fundaciones y Mecánica de Rocas. Lima.
6. PAY HUARTE, J. (1977), "Procedimiento de Sondeos". Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear. Madrid.
7. VIEITZ UTESA, L. (1983), "Recomendaciones para la Descripción de los Macizos Rocosos" UNAM. México.
8. GEOTEST "Ensayos Geotécnicos y Medioambientales"
9. LUIS I. GONZÁLEZ DE VALLEJOS, MERCEDES FERRER, LUIS ORDUÑO, CARLOS OTEO (2002) "Ingeniería Geológica" PEARSON EDUCACIÓN MADRID
10. DAVID CORDOVA ROJAS "Curso Geomecánica Aplicada al Minado Subterráneo" Lima 30 Nov.- Dic. 1 – 2 Colegio de Ingenieros del Perú – capitulo de Ingeniería de Minas.
11. TUPAK OBANDO "La Geotecnia, un Mundo para Explorar la Tierra" – 2009.
12. EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERÚ – Departamento de Capacitación, "Mecánica de Rocas" – Volumen I, R, Salas I.

# **A N E X O S**

## ANEXO I

### CRITERIOS TÉCNICOS Y METODOLÓGICAS EMPLEADAS

A continuación se describen los criterios técnicos y la metodología empleada en las investigaciones realizadas.

#### 1.1 PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN EN SUELOS

La estabilización de las paredes del sondeo se logro a través de la instalación de revestimiento en forma telescópica, no se llevo emplear ningún tipo de aditivo, ni cementación en los tramos inestables, ya que los sondeos son de poca profundidad.

#### **Razones del uso del método de perforación Standard o Convencional**

Las perforaciones fueron realizadas empleando íntegramente el método de perforación Standard. Si bien es cierto que este método es más lento asegura un eficiente trabajo. Las ventajas son las siguientes:

- Proporciona una mejor recuperación en materiales granulares (suelos), inclusive hasta de las fracciones finas.
- Permite el avance paralelo del revestimiento y perforación; con fines de ejecución de ensayos de permeabilidad, básicamente para preparar sondeo en su totalidad.
- Permite; en función del material a perforar alternar brocas impregnadas y widia, para perforar en seco, así como también por optar por coronas simples y dobles (serie G y M).

- Permite ir colocando el revestimiento en forma telescópica a fin de que si se tiene que efectuar un cambio de zapata, el taladro no se cierre en su totalidad.

En la mayoría de los sondeos ejecutados, se presentaron pérdida parcial o total del agua de circulación de la perforación en los vacíos de la formación. Las pérdidas ocurrieron en diversas situaciones y son difíciles de identificar. Originándose algunas veces una inadecuada evacuación de dentritus hacia la superficie, produciéndose por consiguiente el atrapamiento de tubería.

La poca o nula limpieza de los dentritus del material perforado ocasionaba la acumulación de dicho material en el espacio anular comprendido entre la pared externa de la tubería y la pared del pozo, estos dentritus eran posiblemente transportados hacia arriba por alivio de las subpresiones existentes, originando arenamiento del tubo muestreador al extremo que en algunas oportunidades se haya tenido que retirar la totalidad de la tubería de perforación para limpieza.

## **1.2 PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN EN ROCA**

En la totalidad de las investigaciones realizadas en el Proyecto C.H. Las Pizarras, fue confirmado el basamento rocoso, excepto en el sector proyectado de túnel (SD8 y SD9) en el que no se pudo alcanzar el basamento rocoso a la profundidad proyectada.

La metodología de perforación empleada durante la ejecución de los trabajos, fue de recuperación continua de muestras, empleando el método de perforación Wire Line.

Los diámetros empleados fueron básicamente HQ y NQ obedeciendo las normas de la D.C.D.M.A.

Las sacamuestras o core barrel empleados fueron de 1.5 m (5 pies).

### **1.3 ELECCIÓN Y PERFORMANCE DEL MATERIAL DIAMANTINO**

La elección y performance del material diamantino varió de acuerdo al sector y material en que se trabajó; a continuación se indican algunas apreciaciones referente al material diamantino empleado.

Se emplearon brocas impregnadas de diámetro HWM y HQ para perforar material de sobre carga, las brocas de mejor performance fueron las de matriz con dureza intermedia a intermedia suave y con salida de agua mixta. Teniendo en consideración la dureza del material cuando se perforaba en roca se emplearon brocas con matriz suave, también del tipo impregnada y con salida de agua lateral.

Las brocas de Widia fueron empleadas en los primeros metros en el sector proyectado de túnel, el material que se tiene en este sector es de granulometría fina y exigía perforar con bajo o ningún caudal de agua (perforación en seco) para mejorar la recuperación, su performance fue satisfactoria.

Las brocas impregnadas de la serie M, fueron de matriz intermedia con salida de agua mixta, para la recuperación de la fracción fina.

Cabe indicar que las zapatas o casing Shoe utilizadas fueron del tipo impregnado.



**Foto N° 10.1 Equipo de Perforación Lonyer 38 realizando un Sondeo Inclinado (Eje de Presa)**

**ANEXO II**  
**CUADROS DE RESUMEN**

CUADRO N° 1

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS  
RESUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS**

LUGAR	SONDEO N°	COORDENADAS		COTA DEL TERRENO	PROFUND.	CONTACTO SUELO/ROCA	NIVEL FREÁTICO (m)	Ø DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO Ø		ENSAYOS		N° DE CAJAS DE TESTIGOS
		NORTE	ESTE						HW	NW	LUGEON	SPT	
EJE DE PRESA	SD1	9267278.20	721546.45	1181.00 msnm	32.20 m	13.40 m	23.50 m	HQ	3.50 m		1		5
	SD2	9267258.61	721553.16	1166.70 msnm	30.20 m	1.50 m	6.00 m	HQ	1.50 m		3		7
	SD3	9267258.77	721555.97	1167.70msnm	30.30 m	2.65 m	4.60 m	HQ	2.65 m		2		7
	SD4	9267258.55	721598.81	1168.30 msnm	25.00 m	1.55 m	1.93 m	HQ	9.60 m		3		8
	SD5	9267238.81	721599.98	1178.40msnm	30.30 m	1.60 m	NO ALCANZO	HQ	1.60 m		2		8
TOMA Y CANAL DE DESVIO	SD6	9267258.55	721598.81	1168.30msnm	25.00 m	4.45 m	5.50 m	HQ	4.50 m		3		6
	SD7	9267239.05	721601.76	1178.40 msnm	60.20 m	5.20 m	NO ALCAZO	HQ	2.50 m		3		15
	SD8	9265830.52	720043.49	1167.70msnm	25.00 m	NO ALCANZO	NO ALCANZO	HQ	10.70 m			1	5
	SD9	9265668.97	719959.18	1155.20 msnm	30.00 m	NO ALCANZO	NO ALCANZO	HQ	10.50 m			1	4
CHIMENEA	SD10	9265573.51	719920.32	1181.50 msnm	50.15 m	0.00 m	NO ALCANZO	HQ			1		11
CASA DE MÁQUINAS	SD11	9265460.57	719850.51	1104.80 msnm	30.10 m	0.00 m	NO ALCANZO	HQ	11.10 m		1		7
	SD12	9265257.64	719840.70	1143.00msnm	41.10 m	37.70 m	NO ALCANZO	HQ	10.00 m				4
	CALICATA N°												
ÁREA DE PRESA	CAL1	9267278.20	721546.45	1181.00 msnm	3.00 m	NO ALCANZO	NO ALCANZO						
	CAL2	9267220.66	721571.07	1174.00 msnm	4.75 m	NO ALCANZO	NO ALCANZO						
ÁREA DE CHIMENEA	CAL3	1181 msnm	1181 msnm	1179.00 msnm	3.00 m	ALCANZO	NO ALCANZO						
ÁREA DE CASA DE MÁQUINAS	CAL4	9265444.72	719823.72	1178.00msnm	2.30 m	ALCANZO	NO ALCANZO						
	CAL5	9265406.63	719786.32	1181.00 msnm	3.30 m	NO ALCANZO	NO ALCANZO						
	CAL6	9265290.37	719815.12	1121.50 msnm	4.20 m	NO ALCANZO	NO ALCANZO						

CUADRO N° 3

<p align="center"><b>PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS</b>  <b>RELACION DE CAJAS DE MUESTRA</b></p>												
N°	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10	SD11	SD12
1	0.00 -10.80	0.00-3.90	0.00 - 4.90	0.00 - 4.70	0.00 -5.70	0.00 - 6.75	0.00 - 7.08	0.00 - 4.00	0.00 -6.45	0.00 - 4.00	0.00 - 5.62	0.00 - 11.60
2	10.80-17.78	3.90-8.80	4.90 -8.70	4.70 - 8.60	5.70-9.55	6.75 -10.50	7.08-10.90	4.00 - 7.55	6.45 -14.45	4.00-7.65	5.62 -10.00	11.60 -27.00
3	17.78-22.70	8.80-13.70	8.70 - 13.65	8.60 - 12.40	9.55-13.35	10.50 -14.25	10.90-15.15	7.55 -11.15	14.45 -21.90	7.65-12.90	10.00 -14.25	27.00 -39.60
4	22.70-27.45	13.70-18.65	13.65 -18.50	12.40 -17.40	13.35-17.22	14.25 -19.17	15.15-20.04	11.15 -16.65	21.90 -30.00	12.90-19.75	14.25 -18.50	39.60 -41.10
5	27.45-32.20	18.65-23.50	18.50 -23.50	17.40 -21.20	17.22-21.80	19.17 -24.00	20.04-24.00	16.65 -25.00		19.75-23.80	18.50 -22.55	
6		23.50-28.50	23.50-28.20	21.20 -25.37	21.80-24.75	24.00 -25.00	24.00-27.80			23.80-27.85	22.55 -26.20	
7		28.50-32.20	28.20-30.00	25.37 -29.05	24.75-28.42		27.80-31.68			27.85-32.25	26.20 -30.10	
8				29.05 -30.00	28.42-30.30		31.68-36.30			32.25-37.60		
9							36.30-40.05			37.60-41.95		
10							40.05-43.65			41.95-49.15		
11							43.65-47.60			49.15-50.15		
12							47.60-51.04					
13							51.04-54.80					
14							54.80-59.45					
15							59.45-60.20					

CUADRO N° 2

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS  
RESUMEN DE LAS INVESTIGACIONES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

ENSAYOS REALIZADOS IN-SITU						ENSAYOS REALIZADO EN LABORATORIO														
PRUEBA DE PRESIÓN DE AGUA - TIPO LUGEON					ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR - SPT				LABORATORIO N° 2 - MECÁNICA DE SUELOS (UNI)											
SONDEO	N°	TRAMO DE ENSAYO (m)	U.L.	(K cm/s) PERMEABILIDAD	CONSUMO (Litros x Min.)	SONDEO	N°	TRAMO DE ENSAYO (m)	RESULTADO	VALOR N	CALICATA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHATO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (φ)	COHESIÓN (C kg/cm²)	
SD1	1	25.20 - 30.20			25.00	SPT1	6	1.00 - 1.45	15/8,15/9,15/17	26.00	CAL1	2.30	34.10	27.00	7.10	SM	A4(0)	29.8°	0.02	
SD2	3	15.00 - 20.00	3.59	4.7*10E-05				2.00 - 2.45	15/11,15/27,15/46	N>50 (REBOTE)	CAL2	2.30	19.00	NP	NP	GW - GM	A-1a(0)	32.7°	0.00	
		20.00 - 25.00	3.45	4.48*10E-05				3.00 - 3.45	15/24,15/40,15/50	N>50 (REBOTE)	CAL3	2.10	31.00	NP	7.20	SM	A4(1)	27.3°	0.02	
		25.00 - 30.00	0.59	7.67*10E-06				4.00 - 4.45	15/25,15/28,15/29	N>50 (REBOTE)	CAL4	4.80	25.90	NP	NP	GM	A-2-4(0)	32.2°	0.00	
SD3	2	10.00 - 15.00	5.31	6.9*10E-05				5.00 - 5.45	15/25,15/30,15/43	N>50 (REBOTE)	CAL5	7.10	30.50	NP	NP	SM	A-1-b(0)	32.9°	0.00	
		25.00 - 30.00			60.00			6.00 - 6.45	15/40,15/50	N>50 (REBOTE)	CAL6	4.70	27.80	NP	NP	SM	A-1-b(1)	31.9°	0.00	
SD4	3	15.00 - 20.00	0.54	7.02*10E-06		SPT2	6	1.00 - 1.45	15/12,15/13,15/14	27	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS (FIGMM-UNI)									
		20.00 - 25.00			51.00			2.00 - 2.45	15/4,15/6,15/12	18	MUESTRA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (Kg/cm²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	CALIDAD	CLASE	VALORACIÓN RMR	
		25.00 - 30.00	1.91	2.5*10E-05				3.00 - 3.45	15/32,15/31,15/36	N>50 (REBOTE)	SD1-A	4.72	9.42	120.40	703.24	68.92	REGULAR	III	42	
SD5	2	21.00 - 25.00	0.14	1.82*10E-06				4.00 - 4.45	15/24,15/30,	N>50 (REBOTE)	SD1-B	4.72	9.50	209.90	1227.29	120.27	REGULAR	III	47	
		25.30 - 30.30	10.41	1.35*10E-04				5.00 - 5.45	15/22,15/27,15/35	N>50 (REBOTE)	SD2	4.67	9.40	123.60	738.26	72.35	BUENA	II	62	
SD6	3	11.00 - 16.00	6.40	8.32*10E-05				6.00 - 6.45	15/15,15/49,15/19	N>50 (REBOTE)	SD3	4.67	9.36	137.20	819.05	80.27	REGULAR	III	47	
		16.00 - 21.00			66.00	UNIDADES GEOTÉCNICAS					SD4	6.24	12.72	200.40	660.19	64.70	BUENA	II	62	
SD7	3	21.00 - 25.00	7.00	9.1*10E-06		En torno al área de Proyecto esta conformado por formaciones rocosas y al techo conformado por material con características propias de suelo.					SD5	6.27	12.53	248.50	941.83	92.30	BUENA	II	67	
		28.00 - 33.00			49.20	UNIDAD GEOTÉCNICA I.- compuesta por un material reciente, con una secuencia de depósitos coluviales y aluviales, de granulometría heterométricas de fragmentos de roca, con una matriz de limo inorgánico ligeramente arcilloso, apto como material de fundación.					SD6	6.28	12.06	191.10	627.44	61.49	BUENA	II	65	
		33.00 - 38.00			43.40	UNIDAD GEOTÉCNICA II.- Esta constituido por las formaciones rocosas, que dan otras sub unidades por cada tipo de rocas.					SD7	2.28	12.37	240.50	793.81	77.79	BUENA	II	67	
		55.20 - 62.20	5.40	7.01*10E-04		Unidad Geotécnica II A.- se compone por una roca sedimentaria del tipo Caliza fosilífera con presencia evidente de bioformas (moluscos) remplazados por carbonatos, mediamamente fracturada y alterada en superficie, clasificando como Regular a Buena, Tipo III valoración RMR comprendida entre 40 a 50, con Resistencia a la Compresión Simple entre 60 a 120 MPa.					SD10	6.24	12.58	606.70	2030.08	198.95	BUENA	II	68	
SD10	1	55.00 - 60.00			97.00	Unidad geotécnica II B.- compuesta por rocas volcánicas del tipo Toba Riolitica de aspecto brechoide de composición liticas angulosas a subangulosas de matriz afanítica y de Tufo Riolitico de grano fino con bandeamiento de cuarzo, clasificando como Buena, Tipo II, valorización comprendida entre 60 a 80 , con Resistencia a la Compresión Simple entre 60 a 200 MPa.					SD11-A	6.18	12.52	127.90	436.58	42.78	BUENA	II	65	
SD11	1	25.00 - 30.00			57.90						SD11-B	6.24	15.48	331.70	1136.32	111.36	BUENA	II	77	

**ANEXO III**  
**REGISTROS DE PERFORACIÓN**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 28 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 09 - 02 - 10

COTA : 1181 msnm  
 INCLINACIÓN : 40°  
 PROFUNDIDAD : 32.20m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267278.20 E: 0721546.45

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg		
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg					
			0-10				FRAGMENTOS, BOLONES, CANTOS Y GRAVAS EN UNA MATRIZ DE ARENA LIMOSA, COLOR PARDO CLARO, SUELTO, LOS FRAGMENTOS SON SUB - ANGULOSOS A SUB - REDONDEADOS, LOS FINO HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN, MATERIAL DE ORIGEN ALUVIO-FLUVIAL.										Fr + SM		1

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 28 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 09 - 02 - 10

COTA : 1181 msnm  
 INCLINACIÓN : 40°  
 PROFUNDIDAD : 32.20m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267278.20 E: 0721546.45

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg			
			11				FRAGMENTOS, BOLONES, CANTOS Y GRAVAS EN UNA MATRIZ DE ARENA LIMOSA, COLOR PARDO CLARO, SUELTO, LOS FRAGMENTOS SON SUB - ANGULOSOS A SUB - REDONDEADOS, LOS FINO HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN, EL MATERIAL DE ORIGEN ALUVIO- FLUVIAL.										
			12				0.00 - 13.40 m										
			13				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DE DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE LAS FRACTURAS Y LOS VACIOS HAN SIDO RELLENADO POR CARBONATOS, LAS FRACTURAS SON LIGERAMENTE RUGOSAS, SE OBSERVAN PIRITAS DISEMINADAS.	F-3	M-2	D-2, D3							2
			14														
			15														
			16														
			17														
			18														
			19														
			20														

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

SONDEO N° : SD1

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 28 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 09 - 02 - 10

COTA : 1181 msnm  
 INCLINACIÓN : 40°  
 PROFUNDIDAD : 32.20m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267278.20 E: 0721546.45

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg	
																		PRUEBAS LUGEON
			21				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, TEXTURA GRANULAR FINA A GRUESA ÁSPERA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, POCO FRACTURADO, LIGERAMENTE METEORIZADA, LAS FRACTURAS Y VACÍOS HAN SIDO RELLENADO POR CARBONATOS, LAS FRACTURAS SON LIGERAMENTE RUGOSAS, SE OBSERVAN PIRITAS DISEMINADAS.	F-3	M-2	D-2, D3							3	
			22				13.40 - 23.30 m											
			24				EN ESTE TRAMO LA CALIZA ES DE COLOR GRIS NEGRUZO, SU MÁTRIZ DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, MASIVA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE LIGERAMENTE METEORIZADA, POCO COMPETENTE, DELEZNABLE CON FRACTURAS MECÁNICAS.	F-1	M-2	D-2, D3								4
			25				23.30 - 26.55 m											
			27				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, POCO FRACTURADO, DUREZA DÉBIL A LIGERAMENTE RESISTENTE, FRESCA LAS FRACTURAS Y VACÍOS HAN SIDO RELLENADO POR CARBONATOS, LAS FRACTURAS SON LIGERAMENTE RUGOSAS, SE OBSERVAN PIRITAS DISEMINADAS.	F-2	M-2	D-2, D3								5
			28				26.55 - 32.20 m											

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS	VOLCÁNICA	CALIZA
GRAVA 	LIMO 		
ARENA 	ARCILLA 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 19-02-10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 23-02-10

COTA : 1166.7 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.20m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.61 E: 0721553.16

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			1			1	GRAVA Y PARTÍCULAS, ENGLOBADOS EN MATRIZ DE ARENA CON ALGO DE LIMO, GRIS CLARO, SUELTO, FRAGMENTOS SUB-ANGULOSOS A SUB-REDONDEADOS, DE TAMAÑO PROMEDIO DE 3.0 - 5.0 CM, LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN, 0.00 - 1.50 m								1	
			2			2	CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, MODERADAMENTE RESISTENTE A RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON MENOR DE 3.0 CM Y RELLENADOS POR CARBONATOS, LA CALCITA EN LOS VACÍOS HA LLEGADO A CRISTALIZAR, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB-PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE, AL CORTE DE LA BROCA, EL RQD PROMEDIO ES DE 60%, EL TRAMO DE MAYOR FRACTURAMIENTO SE PRESENTA ENTRE LOS 4.60 A 7.70 M DONDE EL RQD ES CERO.	F-5	M-2	D-3,D-4	CONSUMO 92.5 Litros x min.	1	5.0 a 10.0 m			2
			3			3										3

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
<p><b>GRAVA</b> </p> <p><b>ARENA</b> </p>	<p><b>LIMOS</b> </p> <p><b>ARCILLAS</b> </p>	<p><b>VOLCÁNICA</b> </p> <p><b>BRECHA</b> </p>	<p><b>CALIZA</b> </p> <p><b>ARENISCA</b> </p> <p><b>LUTITA</b> </p>

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

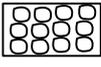
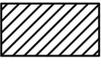
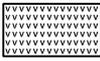
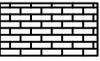
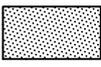
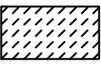
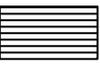
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

<b>TIPO DE PERFORACIÓN :</b> ROTATORIA	<b>COTA :</b> 1166.7 msnm	<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS
<b>FECHA DE INICIO :</b> 19-02-10	<b>INCLINACIÓN :</b> 90°	<b>UBICACIÓN :</b> SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA
<b>FECHA DE TERMINACIÓN :</b> 23-02-10	<b>PROFUNDIDAD :</b> 30.20m	<b>COORDENADAS :</b> N: 09267258.61 E: 0721553.16

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA				PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS	PERMEABILIDAD <small>cm/seg</small>
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			11				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURA, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DE DUREZA DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS ES MENOR DE 3.0 CM Y RELLENADOS POR CARBONATOS, LA CALCITA EN LOS VACÍOS HA LLEGADO A CRISTALIZAR, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB-PERPENDICULAR ( ESFUERZO MECÁNICO ), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE AL CORTE DE LA BROCA, EL RQD PROMEDIO ES DE 60%.							3		
			12													
			13													
			14													
			15													
			16													
			17													
			18													
			19													
			20													

### LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA		
	<b>PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS</b>		
	<small>EVER RAFAEL GUILLERMO TAMARA</small>	<small>ESCALA: 1:75</small>	<small>FECHA: ENERO 2012</small>



# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 24 - 02 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 25 - 02 - 10

COTA : 1166.7 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.30 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.77 E: 0721555.97

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cmseg	
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD cmseg
HQ	HW		0	100			ARENA LIGERAMENTE LIMOSA, CON GRAVA DE PARTICULAS SUB-ANGULOSAS Y SUB-REDONDEADAS, MARRÓN CLARO, SUELTA, DE GRANO FINO A MEDIO, PREDOMINAN LA ARENA LIMOSA EN UN 80% Y UN 20% DE GRAVA DE DIFERENTES ORIGENES.  0,00 - 2,65 m									1	
			2.65	100			CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, MODERADAMENTE RESISTENTE A RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, EN LOS VACÍOS LA CALCITA HA LLEGADO A CRISTALIZAR, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB - PERPENDICULAR ( ESFUERZO MECÁNICO ), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE, AL CORTE DE LA BROCA, EL RQD PROMEDIO ES DE 80%.	F-3	M-2	D-3,D-4							2

## LEYENDA

SUELOS				ROCA			
SUELOS GRANULARES		SUELOS FINOS		VOLCÁNICA		CALIZA	
GRAVA		LIMOS		BRECHA		ARENISCA	
ARENA		ARCILLAS				LUTITA	

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 24 - 02 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 25 - 02 - 10

COTA : 1166.7 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.30 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.77 E:0721555.97

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg	
																		PRUEBAS LUGEON
			11				CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LAS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, EN LOS VACÍOS LA CALCITA HA LLEGADO A CRISTALIZAR, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB - PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE, AL CORTE DE LA BROCA, EL RQD PROMEDIO ES DE 80%, . 2.65 - 13.20 m	F-2	M-2	D-2, D3								3
			14				ARENISCA DE COLOR VERDE DE GRANO GRUESO, POCO CONSOLIDADO, DELEZNABLE. LOS VACÍOS SON RELLENADOS POR CARBONATOS EN FORMA DE COSTRAS, APARENTEMENTE SE GENERADO RELLENANDO EL VACÍO EXISTENTE DENTRO DEL MACIZO ROCOSO PRINCIPAL. 13.20-14.30 m	F-2	M-1	D-0								4
			17				CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DUREZA DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, EN LOS VACÍOS LA CALCITA HA LLEGADO A CRISTALIZAR, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB - PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE, AL CORTE DE LA BROCA, EL RQD PROMEDIO ES DE 80%.	F-2	M-2	D-2, D3	5.31	1	15.0 a 20.0 m	6.90*10E-5				5

## LEYENDA

SUELOS				ROCA			
SUELOS GRANULARES		SUELOS FINOS					
GRAVA		LIMOS		VOLCÁNICA		CALIZA	
ARENA		ARCILLAS		BRECHA		ARENISCA	
						LUTITA	

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

<b>TIPO DE PERFORACIÓN :</b> ROTATORIA	<b>COTA :</b> 1166.7 msnm	<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS
<b>FECHA DE INICIO :</b> 24 - 02 - 10	<b>INCLINACIÓN :</b> 90°	<b>UBICACIÓN :</b> SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA
<b>FECHA DE TERMINACIÓN :</b> 25 - 02 - 10	<b>PROFUNDIDAD :</b> 30.30 m	<b>COORDENADAS :</b> N: 09267258.77 E:0721555.97

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD embieg	
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD embieg
			21					F-2	M-2	D-2, D-3	NO LEVANTA PRESIÓN	2	20.0 a 25.0 m			5	
			22				<p>CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DUREZA DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, EN LOS VACÍOS LA CALCITA HA LLEGADO CRISTALIZAR, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB - PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), AL CORTE DE LA BROCA, EL RQD PROMEDIO ES DE 80%.</p>				NO LEVANTA PRESIÓN	3	25.2 a 30.2 m			6	
			23														7
			24					14.30-30.30 m									

### LEYENDA

SUELOS				ROCA			
SUELOS GRANULARES		SUELOS FINOS		VOLCÁNICA		CALIZA	
GRAVA		LIMOS		BRECHA		ARENISCA	
ARENA		ARCILLAS				LUTITA	

OBSERVACIONES:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
 EVER RAFAEL GUILLERMO TAMARA      ESCALA: 1:75      FECHA: ENERO 2012

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

SONDEO N° : SD4

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 13-01-10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 19-01-10

COTA : 1168.30 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.55 E: 0721598.81

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA				PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS					
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	PRUEBAS LUGEON			SUCS	PERMEABILIDAD cmseg			
												NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD cmseg		
			0.00 - 0.55				BOLÓN DE ROCA VOLCÁNICA, LIGERAMENTE ALTERADA DE Ø 55.0 CM	F-5	M-2	D-1									
			0.55 - 1.55				LUTITA DE COLOR PARDOS CLARO, DE ESTRUCTURA LENTICULAR, DE DUREZA MUY DÉBIL, TRITURADA POR EL ESFUERZO MECÁNICO Y POR EL CORTE DE LA BROCA AL PERFORAR.											1	
			1.55 - 6.55				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS CLARO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, LAS DIACLASAS SON DE 1 A 2 CM DE ANCHO, LIGERAMENTE RUGOSAS. LOS ÁNGULOS EN SU MAYORÍA SON DE 20° A 30°.	F-2	M-1	D-2, D3									2
			6.55 - 7.55				ARENISCA DE COLOR VERDE DE GRANO GRUESO, POCO CONSOLIDADO, DELEZNABLE, LOS VACÍOS SON RELLENADOS POR CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, PRESENTA ALTERACIONES.	F-5	M-4	D-0	NO LENTA PRESIÓN	1	5.0 a 10.0 m						3
			7.55 - 10.00					F-5	M-2	D-3									

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 13 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 19 - 01 - 10

COTA : 1168.30 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.55 E: 0721598.81

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
			11	100		[Brick pattern]	LA CALIZA COLOR PARDO CLARO, MÁS COMPETENTE, LAS FRACTURAS DISMINUYEN, GENERALMENTE LAS QUE SE PRESENTAN SON MECÁNICAS.	F-1	M-1	D-4	0.54	2	10.0 a 15.0 m	7.02*10E-6		3	
			12	100		[Brick pattern]										4	
			13	100		[Brick pattern]										5	
			14	100		[Brick pattern]	CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS CLARO, DE TEXTURA GRANULAR FINA, DÉBIL, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, LAS DIACLASAS SON DE 1.0 A 2.0 CM DE ANCHO, LIGERAMENTE RUGOSAS. LOS ÁNGULOS EN SU MAYORÍA SON DE 20° A 30°.	F-5	M-2	D-2	NO LEVANTA PRESIÓN	3	15.0 a 20.0 m			5	
			15	100		[Brick pattern]										5	
			16	100		[Brick pattern]										5	
			17	100		[Brick pattern]										5	
			18	100		[Brick pattern]										5	
			19	100		[Brick pattern]										5	
			20	100		[Brick pattern]										5	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS	VOLCÁNICA	CALIZA
GRAVA 	LIMOS 		ARENISCA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	LUTITA 

### OBSERVACIONES:

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
<b>PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS</b>
EVER RAFAEL GUILLERMO TAMARA
ESCALA: 1:75
FECHA: ENERO 2012

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

SONDEO N° : SD4

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 13-01-10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 19-01-10

COTA : 1168.30 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.55 E: 0721598.81

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA				PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	PRUEBAS LUGEON			SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
												NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			21	21	21	21	CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS CLARO, DE TEXTURA FINA, DE DUREZA DÉBIL, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, LAS DIACLASAS SON DE 1 A 2 CM DE ANCHO, LIGERAMENTE RUGOSAS. LOS ÁNGULOS EN SU MAYORÍA SON DE 20° A 30°.	F-2	M-2	D-2	NO LEVANTA PRESIÓN	4	20.0 a 25.0 m		5	
			22	22	22	22		22							6	
			23	23	23	23										
			24	24	24	24										
			25	25	25	25										
			26	26	26	26										
			27	27	27	27										
			28	28	28	28										
			29	29	29	29										
			30	30	30	30	7.55 - 30.00 m								8	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 28 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 09 - 02 - 10

COTA : 1178.40 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.30 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267238.81 E:0721599.98

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg	
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg				
			0	100			GRAVA Y ARENA LIGERAMENTE LIMOSO, GRIS CLARO, SUELTO, ANGULOSOS Y SUB ANGULOSOS, LOS FINOS HAN SIDO LAVADO POR PROCESO DE PERFORACIÓN. 0.00 - 1.60 m											1
			1.60	100			CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS AZULADO, DE TEXTURA GRANULAR FINA MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB- PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE AL CORTE DE LA BROCA, CON UN RQD DE VALORES BAJOS, REACCIONA AL ÁCIDO (LIMÓN)											2
			10	100														3

## LEYENDA

SUELOS				ROCA			
SUELOS GRANULARES		SUELOS FINOS		VOLCÁNICA		CALIZA	
GRAVA		LIMOS					
ARENA		ARCILLAS		BRECHA		LUTITA	

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 28 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 09 - 02 - 10

COTA : 1178.40 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.30 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267238.81 E: 0721599.98

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cm³/seg		
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD cm³/seg	
HQ			11				1.60 - 12.00 m	F-5	M-4	D-1							3	
			12				ARENISCA DE COLOR VERDE DE GRANO GRUESO, POCO CONSOLIDADO, DELEZNAZABLE. LOS VACÍOS SON RELLENADOS POR CALCITA EN FORMA DE COSTRAS, APARENTEMENTE SE HA ORIGINADO RELLENANDO EL VACÍO EXISTENTE DENTRO DEL MACIZO ROCOSO PRINCIPAL.											
			13				12.00 - 13.60 m											
			14															
			15															
			16				CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS AZULADO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB-PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE, AL CORTE DE LA BROCA, CON UN RQD DE VALORES BAJOS, REACCIONA AL ÁCIDO (LIMÓN)	F-1	M-4	D-2, D-3								4
			17															
			18															
			19															
			20															5

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

**TIPO DE PERFORACIÓN :** ROTATORIA  
**FECHA DE INICIO :** 28 - 01 - 10  
**FECHA DE TERMINACIÓN :** 09 - 02 - 10

**COTA :** 1178.40 msnm  
**INCLINACIÓN :** 90°  
**PROFUNDIDAD :** 30.30 m

**PROYECTO :** C.H. LAS PIZARRAS  
**UBICACIÓN :** SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
**COORDENADAS :** N: 09267238.81 E: 0721599.98

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACION	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON					SUCS	PERMEABILIDAD cm <sup>2</sup> /seg	
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cm <sup>2</sup> /seg				
			21	21	21	[Diagrama de Perfil Geológico]	CALIZA MASIVA DE COLOR GRIS AZULADO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, ÁSPERA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS SON RELLENADOS CON CARBONATOS, SE OBSERVA UN FRACTURAMIENTO GENERALMENTE SUB-PERPENDICULAR (ESFUERZO MECÁNICO), LO QUE INDICA QUE LA ROCA NO ES COMPETENTE, AL CORTE DE LA BROCA, REACCIONA AL ÁCIDO (LIMÓN)	F-2	M-2	D-2, D-3	0.41	2	21.0 a 25.0 m	182*10E-6	[Diagrama de Suelo]	[Diagrama de Suelo]	5	
			22	22	22	[Diagrama de Perfil Geológico]		10.41	3	25.3 a 30.3 m	1.35*10E-4	[Diagrama de Suelo]	[Diagrama de Suelo]	6				
			23	23	23	[Diagrama de Perfil Geológico]												7
			24	24	24	[Diagrama de Perfil Geológico]												8
			25	25	25	[Diagrama de Perfil Geológico]												
			26	26	26	[Diagrama de Perfil Geológico]												
			27	27	27	[Diagrama de Perfil Geológico]												
			28	28	28	[Diagrama de Perfil Geológico]		13.60 - 30.30 m										

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
<b>GRAVA</b>	<b>LIMOS</b>	<b>VOLCÁNICA</b>	<b>CALIZA</b>
<b>ARENA</b>	<b>ARCILLAS</b>	<b>BRECHA</b>	<b>ARENISCA</b>
			<b>LUTITA</b>

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 20-01-10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 25-01-10

COTA : 1168,30 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 25,00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.55 E: 0721598.81

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg		
										U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg					
			1	1		GRAVA	MATERIAL DE RELLENO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA CON GRAVA Y ARENA. 0.00 - 1.50 m											
			2	1		GRAVA	GRAVA LIGERAMENTE ARENOSA, GRIS, SUELTA, SUB - REDONDEADOS A SUB ANGULOSAS, CON BOLONES DE 10 - 15 CM. LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR PROCESO DE PERFORACIÓN, 1.50 - 4.45 m						GP -GM				1	
			3	1		CALIZA	CALIZA MASIVA COLOR NEGRO AZULADO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, MODERADAMENTE RESISTENTE, FRESCA, SIN ALTERACIONES, CON FRACTURAS NATURALES ABIERTAS POR EL ESFUERZO DEL CORTE DE LA BROCA (CUANDO LA BROCA ES DE MAYOR DIÁMETRO (HQ) LAS FRACTURA NATURALES SE ABREN, Y SI LA BROCA ES DE MENOR DIÁMETRO LAS FRACTURAS SON EN SU MAYORÍA MECÁNICAS) LIMPIAS Y RELLENADO CON CARBONATOS, SE OBSERVA CALCITA EN FORMA DE VENILLAS RELLENANDO LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS, LAS DIACLASAS SON GENERALMENTE SIN RELLENO, LIGERAMENTE RUGOSAS, CUYO ÁNGULOS ESTÁN ENTE 50° A 70°.	F-3	M-2	D-3								2

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 20 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 25 - 01 - 10

COTA : 1168.30 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 25.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.55 E: 0721598.81

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD <small>cmseg</small>		SUCS	PERMEABILIDAD <small>cmseg</small>
HQ			11				CALIZA MASIVA COLOR NEGRO AZULADO, DE TEXTURA GRANULAR FINA , ÁSPERA, DÉBIL, SANA , SIN ALTERACIONES, CON FRACTURAS NATURALES ABIERTAS POR EL ESFUERZO DEL CORTE DE LA BROCA (CUANDO LA BROCA ES DE MAYOR DIÁMETRO (HQ) LAS FRACTURA NATURALES SE ABREN, Y SI LA BROCA ES DE MENOR DIÁMETRO LAS FRACTURAS SON EN SU MAYORÍA MECÁNICAS) LIMPIAS Y RELLENADO CON CARBONATOS, SE OBSERVA CALCITA EN FORMA DE VENILLAS RELLENANDO LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS, LAS DIACLASAS SON GENERALMENTE SIN RELLENO, LIGERAMENTE RUGOSAS, CUYO ÁNGULOS ESTÁN ENTE 50° A 70°.	F-1	M-1	D-4	6.40	1	11.0 a 16.0 m	8.32*10E-5			2
			12														3
			13														4
			14														5
			15														5

## LEYENDA

SUELOS				ROCA			
SUELOS GRANULARES		SUELOS FINOS		VOLCÁNICA		CALIZA	
GRAVA		LIMOS		BRECHA		ARENISCA	
ARENA		ARCILLAS				LUTITA	

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 20-01-10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 25-01-10

COTA : 1168.30 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 25.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267258.55 E: 0721598.81

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON					SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg			
HQ			21 22 23 24 25				CALIZA MASIVA COLOR NEGRO AZULADO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, RESISTENTE, ÁSPERA, SIN ALTERACIONES, CON FRACTURAS NATURALES ABIERTAS POR EL ESFUERZO DEL CORTE DE LA BROCA (CUANDO LA BROCA ES DE MAYOR DIÁMETRO (HQ) LAS FRACTURA NATURALES SE ABREN, Y SI LA BROCA ES DE MENOR DIÁMETRO LAS FRACTURAS SON EN SU MAYORÍA MECÁNICAS) LIMPIAS Y RELLENADO CON CARBONATOS, SE OBSERVA CALCITA EN FORMA DE VENILLAS RELLENANDO LOS VACÍOS Y LAS FRACTURAS, LAS DIACLASAS SON GENERALMENTE SIN RELLENO, LIGERAMENTE RUGOSAS, CUYO ÁNGULOS ESTÁN ENTE 50° A 70°.	F-4	M-1	D-4	7.0	3	21.0 a 25.0 m	9.1*10E-5	5		
							LUTITA, DE COLOR VERDE GRISÁCEO, DE GRANO FINO, SUAVE.	F-5	M-5	D-0					6		

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1178.40 msnm  
 INCLINACIÓN : 43°  
 PROFUNDIDAD : 60.20 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267239.05 E:0721601.76

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			0	100			GRAVA Y CANTOS, FRAGMENTOS DE ROCA. LOS FRAGMENTOS SE PRESENTAN ANGULOSOS, SUELTO, CON TAMAÑO PROMEDIO DE 9 - 15 CM. LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR PROCESO DE PERFORACIÓN									1
			5.20				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, ÁSPERA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE. LOS VACÍOS Y FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, LAS FRACTURAS ABIERTAS PRESENTAN RELLENOS DE ARCILLA DE COLOR NEGRO CON PIGMENTACIONES DE OXIDO DE FIERRO. LAS FRACTURAS TAMBIÉN PRESENTAN COSTRAS DE CALCITA, LAS ABERTURAS SON DE 1 - 2 CM. POR LO GENERAL LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS ESTÁN COMPREDIDAS ENTRE 50° A 60°	F-3	M-2	D-2, D3						2

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1178.40 msnm  
 INCLINACIÓN : 43°  
 PROFUNDIDAD : 60.20 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267239.05 E: 0721601.76

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS				
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS	PERMEABILIDAD cm <sup>2</sup> /seg		
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cm <sup>2</sup> /seg				
			11				ARENISCA DE COLOR VERDE CLARO, DE GRANO GRUESO, POCO CONSOLIDADA, EN FORMA DE LENTE.	F-5	M-2	D-0								
			12				TRAMO DE ROCA TRITURADO, DE FRAGMENTOS ANGULOSOS, CON PRESENCIA DE ÓXIDOS DE FIERRO.											
			13				CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, MODERADAMENTE RESISTENTE A RESISTENTE, LOS VACÍOS Y FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, LAS FRACTURAS ABIERTAS PRESENTAN RELLENOS DE ARCILLA DE COLOR NEGRO CON PIGMENTACIONES DE ÓXIDO DE FIERRO, LAS FRACTURAS TAMBIÉN PRESENTAN COSTRAS DE CALCITA, LAS ABERTURAS SON DE 1 - 2 CM, POR LO GENERAL LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE 50° A 60°	F-5	M-1	D-3, D4								
			14															
			15															
			16															
			17															
			18															
			19															
			20															

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

**TIPO DE PERFORACIÓN :** ROTATORIA  
**FECHA DE INICIO :** 27 - 01 - 10  
**FECHA DE TERMINACIÓN :** 10 - 02 - 10

**COTA :** 1178.40 msnm  
**INCLINACIÓN :** 43°  
**PROFUNDIDAD :** 60.20 m

**PROYECTO :** C.H. LAS PIZARRAS  
**UBICACIÓN :** SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
**COORDENADAS :** N: 09267239.05 E: 0721601.76

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS				
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS	PERMEABILIDAD cm/seg		
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				
			11	11	11	[Dotted]	ARENISCA DE COLOR VERDE CLARO, DE GRANO GRUESO, POCO CONSOLIDADA, EN FORMA DE LENTE.	F-5	M-2	D-0					3		
			12	12	12	[Brick]	TRAMO DE ROCA TRITURADO, DE FRAGMENTOS ANGULOSOS, CON PRESENCIA DE ÓXIDOS DE FIERRO.										
			13	13	13	[Brick]											
			14	14	14	[Brick]											
			15	15	15	[Brick]											
			16	16	16	[Brick]	CALIZA MASIVA , DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, MODERADAMENTE RESISTENTE A RESISTENTE, LOS VACÍOS Y FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, LAS FRACTURAS ABIERTAS PRESENTAN RELLENOS DE ARCILLA DE COLOR NEGRO CON PIGMENTACIONES DE ÓXIDO DE FIERRO, LAS FRACTURAS TAMBIÉN PRESENTAN COSTRAS DE CALCITA, LAS ABERTURAS SON DE 1 - 2 CM, POR LO GENERAL LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE 50° A 60°	F-5	M-1	D-3, D4							4
			17	17	17	[Brick]											
			18	18	18	[Brick]											
			19	19	19	[Brick]											
			20	20	20	[Brick]											

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

**TIPO DE PERFORACIÓN :** ROTATORIA  
**FECHA DE INICIO :** 27 - 01 - 10  
**FECHA DE TERMINACIÓN :** 10 - 02 - 10

**COTA :** 1178.40 msnm  
**INCLINACIÓN :** 43°  
**PROFUNDIDAD :** 60.20 m

**PROYECTO :** C.H. LAS PIZARRAS  
**UBICACIÓN :** SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
**COORDENADAS :** N: 09267239.05 E: 0721601.76

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA				PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			31	32	33	34	CALIZA MASIVA , DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, LAS FRACTURAS ABIERTAS PRESENTAN RELLENOS DE ARCILLA DE COLOR NEGRO CON PIGMENTACIONES DE OXIDO DE FIERRO, LAS FRACTURAS TAMBIÉN PRESENTAN COSTRAS DE CALCITA, LAS ABERTURAS SON DE 1 - 2 CM, POR LO GENERAL LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE 50° A 60°	F-2	M-2	D-2, D-3	CONSUMO	49.2 LITROS X MINUTO	2	28.0 a 33.0 m	7	
			35	36	37	38		CONSUMO	43.04 LITROS X MINUTO	3	33.0 a 38.0 m	8				
			39	40				9								

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1178.40 msnm  
 INCLINACIÓN : 43°  
 PROFUNDIDAD : 60.20 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267239.05 E: 0721601.76

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cm/día
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cm/día			
			41				CALIZA MASIVA , DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, LAS FRACTURAS ABIERTAS PRESENTAN RELLENOS DE ARCILLA DE COLOR NEGRO CON PIGMENTACIONES DE OXIDO DE FIERRO, LAS FRACTURAS TAMBIÉN PRESENTAN COSTRAS DE CALCITA, LAS ABERTURAS SON DE 1 - 2 CM, POR LO GENERAL LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE 50° A 60°									10	
			42														11
			43														12

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1178.40 msnm  
 INCLINACIÓN : 43°  
 PROFUNDIDAD : 60.20 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09267239.05 E:0721601.76

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			51 52 53 54 55 56 57 58 59 60				<p>CALIZA MASIVA, DE COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DÉBIL A MODERADAMENTE RESISTENTE, LOS VACÍOS Y FRACTURAS SON RELLENADOS POR CARBONATOS, CALCITA EN FORMA DE VENILLAS, LAS FRACTURAS ABIERTAS PRESENTAN RELLENOS DE ARCILLA DE COLOR NEGRO CON PIGMENTACIONES DE OXIDO DE FIERRO, LAS FRACTURAS TAMBIÉN PRESENTAN COSTRAS DE CALCITA, LAS ABERTURAS SON DE 1 - 2 CM. POR LO GENERAL LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE 50° A 60°</p> <p>11.50 - 60.20 m</p>	F-3	M-2	D-2, D-3	5.40	4	55.2 a 60.2 m	7.01*10E-5		13
															14	
															15	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

SONDEO N° : SD8

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1167.70 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 25.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265830.52 E: 0720043.49

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cmseg	
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD cmseg
			0-10				LIMO INORGÁNICO- ARCILLOSO, DE COLOR MARRÓN INTERCALADO CON UN PARDO CLARO, LIGERAMENTE ARENOSO, MAL GRADADA, DE CIMENTACIÓN ALTA, PLASTICIDAD ALTA, PRESENCIA DE CLÁSTOS ANGULARES DE ROCA ALTERADA, PRESENCIA DE RAÍCES DE PLANTAS, LA PERFORACIÓN SE REALIZO EN SECO.									1	
							0.00 - 9.05 m										2
																	3

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1167.70 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 25.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265830.52 E: 0720043.49

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
										U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg			
			11			/ / / / /	ARENA LIGERAMENTE LIMOSA, MAL GRADADA, COLOR PARDO CLARO, CON CEMENTACIÓN ELEVADA, Y UNA PLASTICIDAD MODERADA, CON PRESENCIA DE CLÁSTOS ANGULOSOS (LOS CLÁSTOS SON PRODUCTO DE LA PRESENCIA DE FRAGMENTOS DE ROCAS ALTERADAS), LA PERFORACIÓN SE EFECTUÓ EN SECO.  9.05 - 14.25 m							SP - SM	3	
			12			( ( ( ( (		GRAVA ARENOSA, MAL GRADADA, EN MATRIZ DE LIMO ARCILLOSO DE COLOR PARDO CLARO, LOS CLÁSTOS ANGULOSOS DE TAMAÑOS DE $\phi$ 2 CM, $\phi$ 5 CM, HASTA DE $\phi$ 8 CM, CON BOLONES DE 1 A 40 CM, LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN  14.25 - 16.25 m						GP - CL	4	
			13			( ( ( ( (			FRAGMENTO DE ROCA ALTERADA, TRITURADA POR EL PROCESO DE PERFORACIÓN CON FRAGMENTO DE $\phi$ 4 CM, $\phi$ 7 CM..  16.25 - 18.90 m						Fr	5
			14			/ / / / /								SM		
			15			/ / / / /										
			16			/ / / / /										
			17			/ / / / /										
			18			/ / / / /										
			19			/ / / / /										
			20			/ / / / /										

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA		COTA : 1167.70 msnm		PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS												
FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10		INCLINACIÓN : 90°		UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA												
FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10		PROFUNDIDAD : 25.00 m		COORDENADAS : N: 09265830.52 E: 0720043.49												
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD <small>cm/seg</small>	SUCS		PERMEABILIDAD <small>cm/seg</small>
HQ							<p>ARENA LIMOSA, MAL GRADADA, DE COLOR MARRÓN NEGRUZO, SUELTA, CON PRESENCIA DE FRAGMENTOS DE ROCAS Y BOLONES. LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN.</p> <p>18.90 - 23.55 m GRAVA ARENOSA, MAL GRADADA, CON CLÁSTOS DE <math>\phi</math> 2 A <math>\phi</math> 5 CM, LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN.</p> <p>23.55 - 24.55 m ARENA LIMOSA, MAL GRADADA, CON CLÁSTOS DE <math>\phi</math> 2 A <math>\phi</math> 5 CM, LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN.</p> <p>24.55 - 25.00 m</p>							SM + Fr		5
<b>LEYENDA</b>																
<b>SUELOS</b>								<b>ROCA</b>								
<b>SUELOS GRANULARES</b>				<b>SUELOS FINOS</b>												
GRAVA				LIMOS				VOLCÁNICA				CALIZA				
ARENA				ARCILLAS				BRECHA				ARENISCA				
<b>OBSERVACIONES:</b>								<b>LUTITA</b>								
								<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>								
								FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA								
								<b>PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS</b>								
EVER RAFAEL GUILLERMO TAMARA				ESCALA: 1:75				FECHA: ENERO 2012								

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 22 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 27 - 01 - 10

COTA : 1155.20 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265668.97 E: 0719959.18

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cm/sq
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO			
			0.00 - 6.50 m				LIMO INORGÁNICO - ARCILLOSO LIGERAMENTE ARENOSO. HOMOGÉNEO DE COLOR PARDO NEGRUZO, CIMENTACIÓN MODERADA, PLASTICIDAD BAJA A MODERADA, SECA CON CLÁSTOS ANGULOSOS, CON PRESENCIA DE RAÍCES PEQUEÑAS DE PLANTAS.								ML-CL	1
			6.50 - 7.20 m				GRAVA Y CANTOS ENGOBADOS EN MATRIZ, LIMO ARENOSO, PARDO OSCURO, ANGULOSOS , ENTRE 18, 10 Y 6 CM, EN ESTE TRAMO SE APRECIA MAYOR PORCENTAJE DE GRAVA. APARENTEMENTE DE ESTRUCTURA LENTICULAR.								GP-GM	2

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

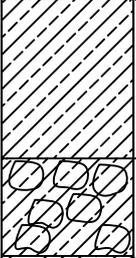
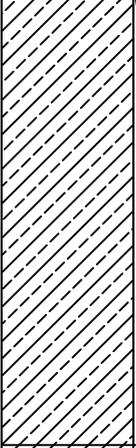
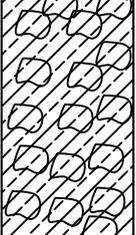
PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
**LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 22 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 27 - 01 - 10

COTA : 1155.20 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 30.00 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265668.97 E: 0719959.18

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
										U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg			
↓ HW			11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	11 12 13 14 15 16 17 18 19 20		 7.20 - 11.65 GRAVA Y BOLONES ENGOBADOS EN MATRIZ, LIMO ARENOSO, MARRÓN OSCURO, ANGULOSOS DE ORIGEN VOLCÁNICO ENTRE 8 Y 9 CM. EN ESTE TRAMO SE APRECIA MAYOR PORCENTAJE DE GRAVA. APARENTEMENTE DE ESTRUCTURA LENTICULAR. 11.65 - 12.65 m						ML-CL	GP	2		
						 LIMO - ARCILLOSO LIGERAMENTE ARENOSO, HOMOGÉNEO DE COLOR PARDO NEGRUZO, COMPACTO LIGERAMENTE CEMENTADO, PLASTICIDAD BAJA A MODERADA, SECA, LAS FRACTURAS SON ANGULOSOS, SE APRECIA HASTA UN 50 % DE FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN. 11.65 - 17.35 m						ML-CL		3		
						 GRAVA, CANTOS Y BOLONES EN MATRIZ, LIMO ARENOSA, MARRÓN OSCURO, DENSO, COMPACTO BIEN CEMENTADO PERO AL CONTACTO CON EL AGUA FÁCILMENTE DELEZNABLES, LOS FRAGMENTOS ANGULOSOS DE ORIGEN VOLCÁNICO, ENTRE 8, 6 Y 5 CM, EN ESTE TRAMO SE APRECIA MAYOR PORCENTAJE DE GRAVA. DE ORIGEN FLUVIO - ALUVIAL.						GP - GM				

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
		LUTITA 	

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

<b>TIPO DE PERFORACIÓN :</b> ROTATORIA <b>FECHA DE INICIO :</b> 22 - 01 - 10 <b>FECHA DE TERMINACIÓN :</b> 27 - 01 - 10				<b>COTA :</b> 1155.20 msnm <b>INCLINACIÓN :</b> 90° <b>PROFUNDIDAD :</b> 30.00 m				<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS <b>UBICACIÓN :</b> SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA <b>COORDENADAS :</b> N: 09265668.97 E: 0719959.18								
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD <small>cm/seg</small>
										U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD <small>cm/seg</small>			
HQ							17.35 - 21.65 m  BLOQUE ENLOBADO EN MATRIZ LIMO ARENOSO, BLOQUE VOLCÁNICO DE 2.35 M, EN EL TOPE LIGERAMENTE ALTERADO, EN EL FONDO LA ALTERACIÓN ES MÁS INTENSA, SE APRECIA EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN SE TRITURA CON FACILIDAD A MEDIDA DEL DE SONDEO AVANZA.								3	
							21.65 - 25.90 m  ARENA CON ALGO DE LIMO, DE COLOR MARRÓN, SUELTA POCO CONSISTENTE, DE GRANO FINO A MEDIO APARENTE ESTRUCTURA LENTICULAR DE ORIGEN FLUVIAL.									4
							25.90 - 30.00 m									
LEYENDA																
SUELOS								ROCA								
SUELOS GRANULARES				SUELOS FINOS				VOLCÁNICA				CALIZA				
GRAVA				LIMOS												
ARENA				ARCILLAS												
OBSERVACIONES:								<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA <b>PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS</b>								
				EVER RAFAEL GUILLERMO TAMARA				ESCALA: 1:75				FECHA: ENERO 2012				

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1181.50 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 50.15 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265573.51 E: 0719920.32

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
			0-10				<p>ROCA VOLCÁNICA (TOBA DE ANDESITA), DE COLOR GRIS OSCURO, MASIVA , TEXTURA HOLOCRISTALINA, CON CLÁSTOS DE DIFERENTES TAMAÑOS, DE MATRIZ AFANÍTICA, RESISTENTE, PRESENTA UNA ALTERACIÓN BAJA, FRACTURADA POR LO GENERAL EN TODO EL SONDEO, LAS FRACTURAS SON RELLENADAS POR LIMO ARCILLOSO HASTA 3 CM DE ABERTURA, EL TRAMO TRITURADO QUE SE PRESENTA ES POSIBLEMENTE ES ZONA DE ARRASTRE DE FALLA, PORQUE A MEDIDA QUE AVANZA EN SONDAJE, SE PRESENTA MÁS TRITURADA, Y NO ESTA AFECTADA A NINGUNA ALTERACIÓN, LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS SON POR LO GENERAL DE 30° A 40° RESPECTO AL EJE DE PERFORACIÓN, LIGERAMENTE RUGOSAS, CON TRAMOS TRITURADO.</p>	F-3	M-2	D-4						1	
								F-4	M-3	D-4						2	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1181.50 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 50.15 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265573.51 E: 0719920.32

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
HQ			11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	100			<p>ROCA VOLCÁNICA (TOBA DE ANDESITA), DE COLOR GRIS OSCURO, MASIVA, TEXTURA HOLOCRISTALINA, CON CLÁSTOS DE DIFERENTES TAMAÑOS, DE MATRIZ AFANÍTICA, RESISTENTE, PRESENTA UNA ALTERACIÓN BAJA, FRACTURADA POR LO GENERAL EN TODO EL SONDEO, LAS FRACTURAS SON RELLENADAS POR LIMO ARCILLOSO HASTA 3 CM DE ABERTURA, EL TRAMO TRITURADO QUE SE PRESENTA ES POSIBLEMENTE ES ZONA DE ARRASTRE DE FALLA, PORQUE A MEDIDA QUE AVANZA EN SONDAJE, SE PRESENTA MÁS TRITURADA, Y NO ESTA AFECTADA A NINGUNA ALTERACIÓN, LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS SON POR LO GENERAL DE 30° A 40° RESPECTO AL EJE DE PERFORACIÓN, LIGERAMENTE RUGOSAS, CON TRAMOS TRITURADO.</p>	F-5	M-4	D-4					3		
															4		

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1181.50 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 50.15 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265573.51 E: 0719920.32

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cm/seg		
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD cm/seg	
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	F-4 F-5	M-4	D-4			5
							ROCA VOLCÁNICA (TOBA DE ANDESITA), DE COLOR GRIS OSCURO, MASIVA, RESISTENTE, TEXTURA HOLOCRISTALINA, DE CLÁSTOS CON DIFERENTES TAMAÑOS, DE MATRIZ AFANÍTICA, RESISTENTE, PRESENTA UNA ALTERACIÓN BAJA, FRACTURA POR LO GENERAL EN TODO EL SONDEO, LAS FRACTURAS SON RELLENADAS POR LIMO ARCILLOSO HASTA 3 CM DE ABERTURA, EL TRAMO TRITURADO QUE SE PRESENTA ES POSIBLEMENTE ES ZONA DE ARRASTRE DE FALLA, PORQUE A MEDIDA QUE AVANZA EN SONDAJE, SE PRESENTA MÁS TRITURADA, Y NO ESTA AFECTADA A NINGUNA ALTERACIÓN LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS SON POR LO GENERAL DE 30° A 40° RESPECTO AL EJE DE PERFORACIÓN, LIGERAMENTE RUGOSAS, CON TRAMOS TRITURADO.										6	
																		7

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA   ARENA 	LIMOS   ARCILLAS 	VOLCÁNICA   BRECHA 	CALIZA   ARENISCA   LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

EVER RAFAEL GUILLERMO TAMARA

ESCALA: 1:75

FECHA: ENERO 2012

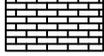
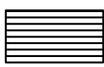
**TIPO DE PERFORACIÓN :** ROTATORIA  
**FECHA DE INICIO :** 27-01-10  
**FECHA DE TERMINACIÓN :** 10-02-10

**COTA :** 1181.50 msnm  
**INCLINACIÓN :** 90°  
**PROFUNDIDAD :** 50.15 m

**PROYECTO :** C.H. LAS PIZARRAS  
**UBICACIÓN :** SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
**COORDENADAS :** N: 09265573.51 E: 0719920.32

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON					SUCS	PERMEABILIDAD cm/seg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cm/seg			
			31	31		VVVVVVVV		F-5	M-4	D-4				7			
			32	32		VVVVVVVV	ROCA VOLCÁNICA (TOBA DE ANDESITA), DE COLOR GRIS OSCURA, MASIVA, TEXTURA HOLOCRISTALINA, CON CLÁSTOS DE DIFERENTES TAMAÑOS, DE MATRIZ AFANÍTICA, RESISTENTE, PRESENTA UNA ALTERACIÓN BAJA, FRACTURA POR LO GENERAL EN TODO EL SONDEO, LAS FRACTURAS SON RELLENADAS POR LIMO ARCILLOSO HASTA 3 CM DE ABERTURA, EL TRAMO TRITURADO QUE SE PRESENTA ES POSIBLEMENTE ES ZONA DE ARRASTRE DE FALLA, PORQUE A MEDIDA QUE AVANZA EN SONDAJE, SE PRESENTA MÁS TRITURADA, Y NO ESTA AFECTADA A NINGUNA ALTERACIÓN LOS ÁNGULOS DE LAS DIACLASAS SON POR LO GENERAL DE 30° A 40° RESPECTO AL EJE DE PERFORACIÓN, LIGERAMENTE RUGOSAS, CON TRAMOS TRITURADO							8			
			33	33		VVVVVVVV									9		
			34	34		VVVVVVVV											
			35	35		VVVVVVVV											
			36	36		VVVVVVVV											
			37	37		VVVVVVVV											
			38	38		VVVVVVVV											
			39	39		VVVVVVVV											
			40	40		VVVVVVVV											

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**





# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1104.80 msnm  
 INCLINACIÓN : 50°  
 PROFUNDIDAD : 30.10 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265460.57 E: 0719850.51

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
HQ			11				ROCA VOLCÁNICA (TOBA DE ANDESITA), MASIVA , DE COLOR PARDO OSCURO VIOLÁCEO , DE TEXTURA HOLOCRIHALINA, CON FRAGMENTOS DE DIFERENTES TAMAÑOS SUB-ANGULOSOS, DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA , DE ASPECTO BRECHOIDE MUY RESISTENTE AL GOLPE DE MARTILLO.  EN ALGUNOS TRAMOS EL FRACTURAMIENTO ES MÁS INTENSO, COMO SE OBSERVA EL % DE RQD ES BAJO.	F-2	M-1	D-5						3	
			15					F-3	M-2	D-4						4	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

### OBSERVACIONES:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 27 - 01 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 10 - 02 - 10

COTA : 1104.80 msnm  
 INCLINACIÓN : 50°  
 PROFUNDIDAD : 30.10 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265460.57 E: 0719850.51

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS		
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE BIREFRENENCIA	U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg		SUCS	PERMEABILIDAD cmseg
			21	21		VVVVVVVV		F-4	M-3	D-5					5		
			22	22		VVVVVVVV											
			23	23		VVVVVVVV											
			24	24		VVVVVVVV	ROCA VOLCÁNICA (TOBA DE ANDESITA), MASIVA, DE COLOR PARDOS OSCURO VIOLÁCEO, DE TEXTURA HOLOCRISTALINA, CON FRAGMENTOS DE DIFERENTES TAMAÑOS SUB-ANGULOSOS, DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA, DE ASPECTO BRECHOIDE MUY RESISTENTE AL GOLPE DE MARTILLO										
			25	25		VVVVVVVV											
			26	26		VVVVVVVV											
			27	27		VVVVVVVV											
			28	28		VVVVVVVV		F-2	M-3	D-5					6		
			29	29		VVVVVVVV											
			30	30		VVVVVVVV	7.90 - 30.10 m								7		

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
LAS PIZARRAS**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 16 - 03 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 18 - 03 - 10

COTA : 1143.00 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 41.10 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265257.64 E: 0719840.70

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA					PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS			
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON			SUCS		PERMEABILIDAD cmseg		
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO				PERMEABILIDAD cmseg	
			0.00 - 3.00 m			GRAVA SUB- ANGULOSAS DE ORIGEN VOLCÁNICO, CON MATRIZ DE SUELO INORGÁNICO, DE COLOR MARRÓN OSCURO, LIGERAMENTE ARCILLOSO, COMPACTO												
			3.00 - 10.00 m			GRAVA ARENOSA LIGERAMENTE LIMOSA, DE COLOR PARDO BLANQUECINO, ANGULOSAS A SUB-ANGULOSAS, CON PRESENCIA DE BOLONES QUE SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN A SUELO, DE ORIGEN VOLCÁNICO, DELEZNABLE, SUELTA, LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN												1

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA 	LIMOS 	VOLCÁNICA 	CALIZA 
ARENA 	ARCILLAS 	BRECHA 	ARENISCA 
			LUTITA 

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS



# REGISTRO DE PERFORACIÓN

TIPO DE PERFORACIÓN : ROTATORIA  
 FECHA DE INICIO : 16 - 03 - 10  
 FECHA DE TERMINACIÓN : 18 - 03 - 10

COTA : 1143.00 msnm  
 INCLINACIÓN : 90°  
 PROFUNDIDAD : 41.10 m

PROYECTO : C.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA  
 COORDENADAS : N: 09265257.64 E: 0719840.70

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cm/sq
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cm/sq			
HQ			21 22 23 24 25 26 27 28 29 30				GRAVA ARENOSA LIGERAMENTE LIMOSA, DE COLOR PARDO BLANQUECINO, ANGULOSAS A SUB-ANGULOSAS, CON PRESENCIA DE BOLONES QUE SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN A SUELO, DE ORIGEN VOLCÁNICO, DELEZNABLE, SUELTA, LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN  3.00 - 26.00 ARCILLA INORGÁNICA, DE COLOR NEGRO, COMO MATRIZ DE GRAVA ANGULOSA A SUB-ANGULOSA DE ORIGEN PREDOMINANTE VOLCÁNICA. LA ARCILLA SE PRESENTA COMO UN PEQUEÑO LENTE DE UNA POTENCIA DE ESCASO UN METRO 26.00 - 27.00							GP - GM		2	
														CL		3	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA	LIMOS	VOLCÁNICA	CALIZA
ARENA	ARCILLAS	BRECHA	ARENISCA
			LUTITA

### OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
 LAS PIZARRAS

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

<b>TIPO DE PERFORACIÓN :</b> ROTATORIA <b>FECHA DE INICIO :</b> 16 - 03 - 10 <b>FECHA DE TERMINACIÓN :</b> 18 - 03 - 10	<b>COTA :</b> 1143.00 msnm <b>INCLINACIÓN :</b> 90° <b>PROFUNDIDAD :</b> 41.10 m	<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS <b>UBICACIÓN :</b> SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA <b>COORDENADAS :</b> N: 09265257.64 E: 0719840.70
---	--	--

DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	R.Q.D. (%)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE ROCA						PARÁMETROS DE SUELOS		N° DE CAJAS	
								GRADO DE FRACTURAMIENTO	GRADO DE METEORIZACIÓN	GRADO DE RESISTENCIA	PRUEBAS LUGEON				SUCS		PERMEABILIDAD cmseg
											U.L.	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	PERMEABILIDAD cmseg			
			31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41				GRAVA ARENOSA LIGERAMENTE LIMOSA, DE COLOR PARDO BLANQUECINO, ANGULOSAS A SUB-ANGULOSAS, CON PRESENCIA DE BOLONES QUE SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN A SUELO, DE ORIGEN VOLCÁNICO, DELEZNABLE, SUELTA. LOS FINOS HAN SIDO LAVADOS POR EL AGUA DE PERFORACIÓN  27.00 - 37.70 m							GP - GM		3	
							CALIZA MASIVA, COLOR GRIS OSCURO, DE TEXTURA GRANULAR FINA A MEDIA, DE MODERADAMENTE RESISTENTE A RESISTENTE, CON FRACTURA CONCOIDAL, ALTAMENTE REACTIVA AL ÁCIDO (LIMÓN), CON EL CORTE DE LA BROCA DE PERFORACIÓN ES TRITURADA  37.70 - 41.10 m	F-1 M-1 D-3, D-4								4	

## LEYENDA

SUELOS		ROCA	
SUELOS GRANULARES	SUELOS FINOS		
GRAVA  ARENA	LIMOS  ARCILLAS	VOLCÁNICA  BRECHA	CALIZA  ARENISCA  LUTITA

**OBSERVACIONES:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**

**ANEXO IV**  
**ÁLBUM FOTOGRÁFICO**

**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD9**

**COORDENADAS:** N 9265668.97  
E719959.18

**COTA:** 1155.20  
msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00  
m

**TRAMO:** 0.00 m A 6.45m

**HOJA:** 1 DE 4



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD9**

**COORDENADAS:** N 9265668.97 E719959.18

**COTA:** 1155.20 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 6.45 m A 14.45m

HOJA: 2 DE 4



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD9**

**COORDENADAS:** N 9265668.97 E719959.18

**COTA:** 1155.20 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 14.45 m A 21.90m

**HOJA:** 3 DE 4



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS  
ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD9**

**COORDENADAS: N 9265668.97 E719959.18**

**COTA: 1155.20 msnm**

**PROFUNDIDAD: 30.00 m**

**TRAMO: 21.90 m A 30.00m**

**HOJA: 4 DE 4**



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E 721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 0.00 m A 4.90 m

**HOJA:** 1 DE 7



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 4.90 m A 8.70 m

**HOJA:** 2 DE 7



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E 721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 8.60 m A 13.65 m

**HOJA:** 3 DE 7



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E 721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 13.65 m A 18.50 m

**HOJA:** 4 DE 7



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 18.50 m A 23.50 m

**HOJA:** 5 DE 7



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.00 m

**TRAMO:** 23.50 m A 28.20 m

**HOJA:** 6 DE 7



**PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS**  
**ESTUDIO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

**SONDEO - SD3**

**COORDENADAS:** N 9267258.77 E 721555.97

**COTA:** 1166.70 msnm

**PROFUNDIDAD:** 30.30 m

**TRAMO:** 28.20 m A 30.00 m

**HOJA:** 7 DE 7



**ANEXO V**  
**REGISTROS DE SPT**

**ANEXO VI**  
**CALICATAS**

# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CALICATA - CLA1

UBICACIÓN: SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA

COORDENADAS: N 09267278.20 E 0721546.45

COTA : 1181.00 msnm

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
0.00 a 1.10 m	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO			<i>Arena ligeramente limo inorganico, de color marrón, suelto, plastidad baja, con clastos sob-angulosos y bolones de 7", con presencia de raices.</i>	SP - ML
1.10 a 3.0 m		UNICA		<i>fragmentos, bolones y particulas, grava sub-redondeados y sub-angulosos, en matriz, de arena limosa, de color marrón oscuro, suelta, presencia de raices.</i>	Fr + SM



### LEYENDA

Limo Inorganico



Arena



Grava



# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CALICATA - CLA2

UBICACIÓN: SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA

COORDENADAS: N 09267220.66 E 0721571.07

COTA : 1174.00 msnm

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
0.00 - 1.00	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	UNICA		Arena, con limo inorgánico, de color pardo grisáceo, suelto, como matriz de clastos sub-angulosos y sub-angulosos 0.00 a 1.00 m	SP-SM
1.00 - 2.30				Bolones, partículas y grava en matriz arena ligeramente limosa, suelto, color marrón claro, suelto, los clastos sub-angulosos a sub-redondeados. 1.00 2.30 m	Fr+SM
2.30 - 4.00				Arena gravosa, ligeramente limosa, de color marrón claro, suelta, englobando, partículas y clastos sub-angulosos y sub-angulosos. 2.30 a 4.00 m SM-GP	GP-SM
4.00 - 4.12				Arena-limo inorgánico, de color verde, suelto. SM 4.00 a 4.12 m	SP-SM
4.12 - 4.75				4.12 a 4.75 m	



### LEYENDA

Limo Inorganico



Arena



Grava



# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CALICATA - CLA3

UBICACIÓN: SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA

COORDENADAS: N 9265513.00 E 07198991.00

COTA : 1179.00 msnm

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
0.00 a 3.00 m	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	UNICA		<p><i>Fragmentos, bolones, particulas, de roca altamente intemperizado, en matriz de arena limosa, con poco % de grava.</i></p> <p>0.00 a 3.00 m</p>	Fr+SM



### LEYENDA

Limo Inorganico



Arena



Grava



# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CALICATA - CLA4

UBICACIÓN: SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA

COORDENADAS: N 09265444.72 E 0719823.72

COTA : 1178.00 msnm

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
0.00 - 0.10	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	UNICA		Grava, arena y limo inorgánico, de color marrón oscuro, suelta, con clastos sub-angulosos a sub-redondeados. 0.00 a 0.60 m.	GP-GM
0.10 - 0.20				Fragmentos, bolones, partículas, en los vacíos con arena y limo inorgánico, de color marrón oscuro, suelta.	Fr + SM
0.20 - 0.30	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO				
0.30 - 0.40					
0.40 - 0.50					



### LEYENDA

Limo Inorgánico



Arena



Grava



# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CALICATA - CLA5

UBICACIÓN: SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA

COORDENADAS: N 09265406.63 E 0719786.32

COTA : 1181.00 msnm

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
0.00 a 3.30 m	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	UNICA		Fragmentos, bolones, particulas, matriz de arena ligeramente limo inorganico, de color pardo claro, suelto, con clastos sub-angulosos a sub-redondeados.	Fr +SM

### LEYENDA

Limo Inorganico



Arena



Grava



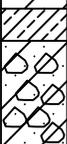
# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CALICATA - CLA6

UBICACIÓN: SANTA CRUZ - SEXI - CAJAMARCA

COORDENADAS: N 09265290.37 E 0719815.12

COTA : 1121.50 msnm

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
0.00 a 4.20 m	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	UNICA		<p><i>Grava y arena limosa, de color pardo claro, suelta, con clastos sub-angulosos a sub-redondeados, con bolones en proceso de transformación a suelo.</i></p>	GP-SM
				<p><i>A los 2.90 m un lente arcilla de color marrón rojizo, compacta, plasticidad media.</i></p>	CL
					GP-SM



### LEYENDA

Limo Inorganico



Arena



Grava

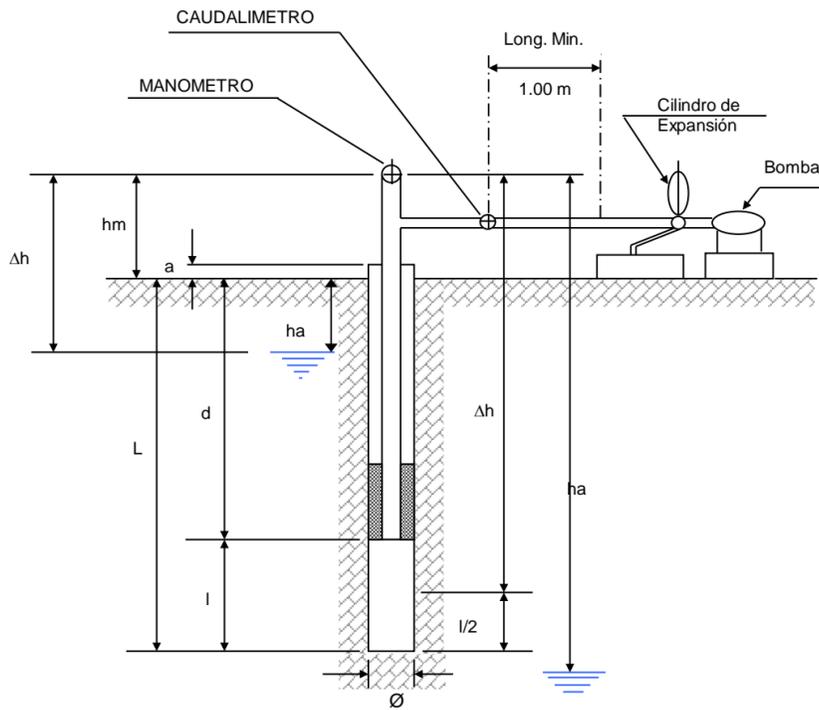


## **ANEXO VII**

### **ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON**

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

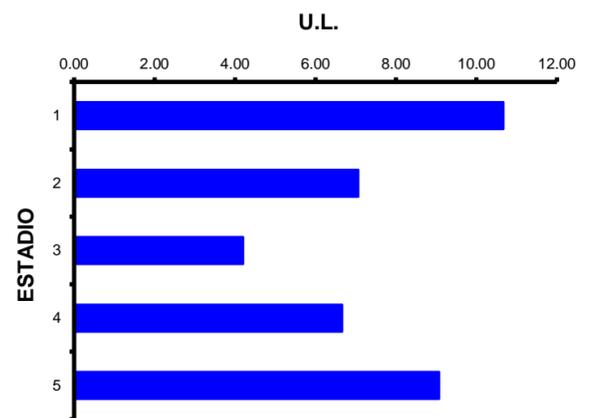
<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS <b>UBICACIÓN:</b> SANTA CRUZ- CAJAMARCA <b>CÓDIGO:</b>	<b>SONDAJE N°</b>	SD2	<b>ENSAYO N°</b>	2	<b>COORD. NORTE:</b> 9267258.61	
	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b>	15.00	A	20.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b> 721553.16	
	<b>FECHA :</b>	22/02/2010	<b>Hr.INIC.</b>	10:30	<b>FIN :</b> 11:40	<b>INCLINACIÓN:</b> VERTICAL
	<b>LITOLÓG. DEL TRAMO :</b>	ROCA			<b>COTA (m.s.n.m.):</b> 1166.7	



<b>hm</b>	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.75	m
<b>a</b>	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.50	m
<b>ha</b>	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO		m
<b>Δh</b>	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	18.25	m
<b>d</b>	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	15.00	m
<b>L</b>	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	20.00	m
<b>α</b>	=	INCLINACION C/HORIZONTAL		°
<b>Δh'</b>	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	0.00	m
<b>l</b>	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
<b>Ø</b>	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	=	PRESION MANOMETRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	=	PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 0.75 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 3.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 0.75 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)								
0	440.0		490.0		554.0		622.0		673.0	
1	444.0	4.00	496.0	6.00	561.0	7.00	627.0	5.00	676.0	3.00
2	448.0	4.00	501.0	5.00	567.0	6.00	632.0	5.00	680.0	4.00
3	452.0	4.00	507.0	6.00	573.0	6.00	637.0	5.00	683.0	3.00
4	456.0	4.00	512.0	5.00	580.0	7.00	642.0	5.00	687.0	4.00
5			517.0	5.00	586.0	6.00			690.0	3.00
6			523.0	6.00	592.0	6.00			694.0	4.00
7			528.0	5.00	599.0	7.00			697.0	3.00
8			533.0	5.00	605.0	6.00			700.0	3.00
9			538.0	5.00	611.0	6.00			704.0	4.00
10			543.0	5.00	617.0	6.00			707.0	3.00
<b>qt (l)</b>	16.00		53.00		63.00		20.00		34.00	
<b>G (l/min)</b>	4.00		5.30		6.30		5.00		3.40	
<b>Q (l/min/m)</b>	0.80		1.06		1.26		1.00		0.68	
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.75		1.50		3.00		1.50		0.75	
<b>U L</b>	<b>10.67</b>		<b>7.07</b>		<b>4.20</b>		<b>6.67</b>		<b>9.07</b>	

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

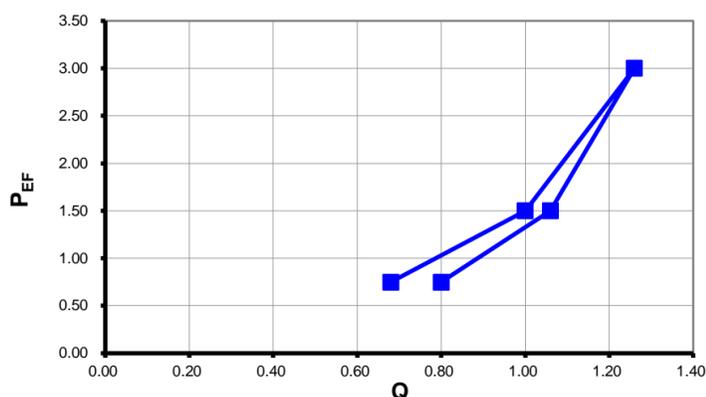


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 4.20 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 5.46E-05 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**

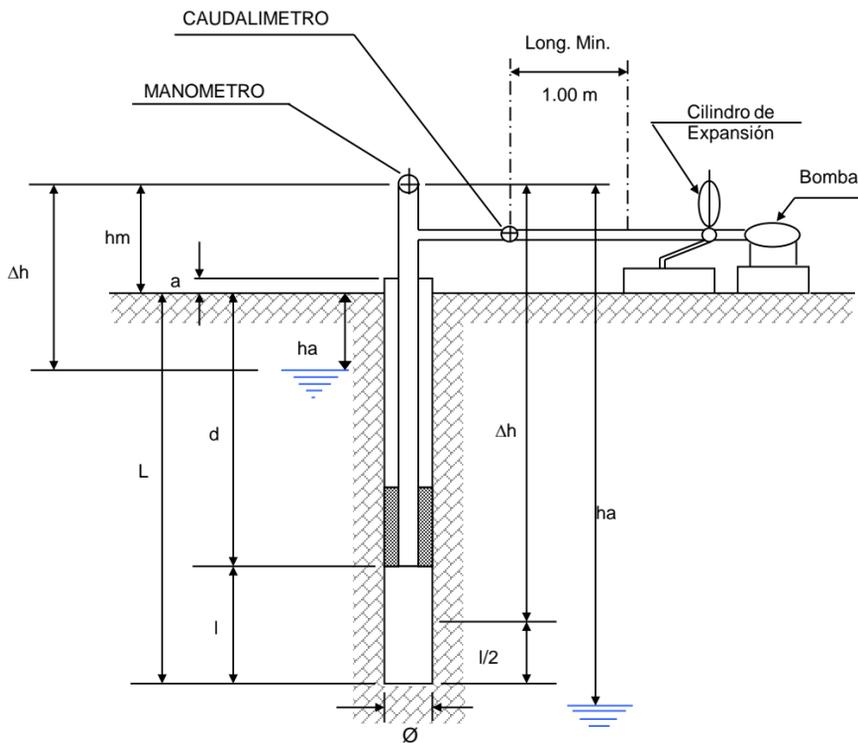


**OBSERVACIONES:** FLUJO TURBULENTO

*El valor lugeon mas bajo ocurre en la presión máxima, se usa el valor lugeon para la presión máxima (4.20)*

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

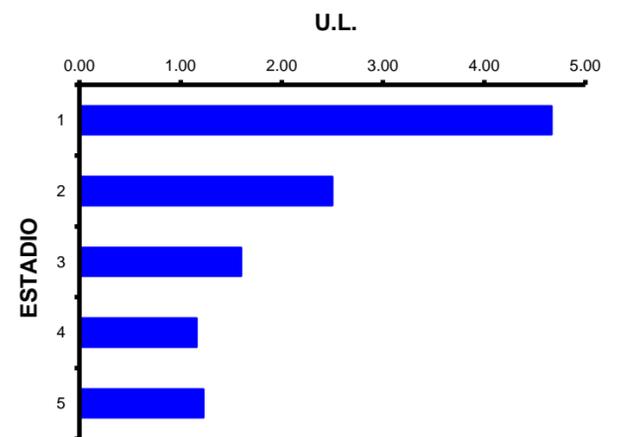
PROYECTO : <b>C.H. LAS PIZARRAS</b> UBICACIÓN: <b>SANTA CRUZ- CAJAMARCA</b> CÓDIGO:	<b>SONDAJE N°</b> SD2	<b>ENSAYO N°</b> 4	<b>COORD. NORTE:</b> 9267258.61
	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b> 25.00 A 30.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b> 721553.16	
	<b>FECHA :</b> 24/02/2010 <b>Hr.INIC.</b> 12:10 <b>FIN :</b> 13:50	<b>INCLINACIÓN:</b> VERTICAL	
	<b>LITOLOG. DEL TRAMO :</b> ROCA	<b>COTA (m.s.n.m.):</b> 1166.7	



<b>hm</b>	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.80	m
<b>a</b>	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.30	m
<b>ha</b>	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO		m
<b>Δh</b>	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	28.30	m
<b>d</b>	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	25.00	m
<b>L</b>	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	30.00	m
<b>α</b>	=	INCLINACION C/HORIZONTAL		°
<b>Δh'</b>	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	0.00	m
<b>l</b>	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
<b>Ø</b>	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	=	PRESION MANOMETRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	=	PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 1.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 4.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.00 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)								
0	748.0		768.0		799.0		832.0		845.0	
1	750.0	2.00	771.0	3.00	803.0	4.00	833.4	1.40	845.6	0.60
2	753.0	3.00	774.0	3.00	806.0	3.00	834.8	1.40	846.2	0.60
3	756.0	3.00	776.0	2.00	810.0	4.00	835.6	0.80	846.7	0.50
4	758.0	2.00	779.0	3.00	813.0	3.00	837.6	2.00	847.8	1.10
5	760.0	2.00	782.0	3.00	817.0	4.00	838.3	0.70	848.4	0.60
6	762.0	2.00	784.0	2.00	820.0	3.00	839.5	1.20	848.9	0.50
7			786.0	2.00	823.0	3.00	840.6	1.10	849.4	0.50
8			789.0	3.00	825.0	2.00	841.6	1.00	849.9	0.50
9			791.0	2.00	828.0	3.00	842.6	1.00		
10			793.0	2.00	831.0	3.00	843.6	1.00		
<b>qt (l)</b>		14.00		25.00		32.00		11.60		4.90
<b>G (l/min)</b>		2.33		2.50		3.20		1.16		0.61
<b>Q (l/min/m)</b>		0.47		0.50		0.64		0.23		0.12
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		1.00		2.00		4.00		2.00		1.00
<b>UL</b>		<b>4.67</b>		<b>2.50</b>		<b>1.60</b>		<b>1.16</b>		<b>1.22</b>

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

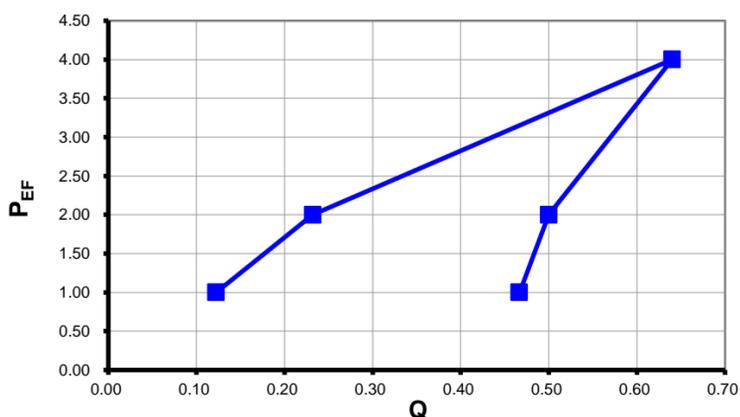


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 1.22 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 1.59E-05 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**

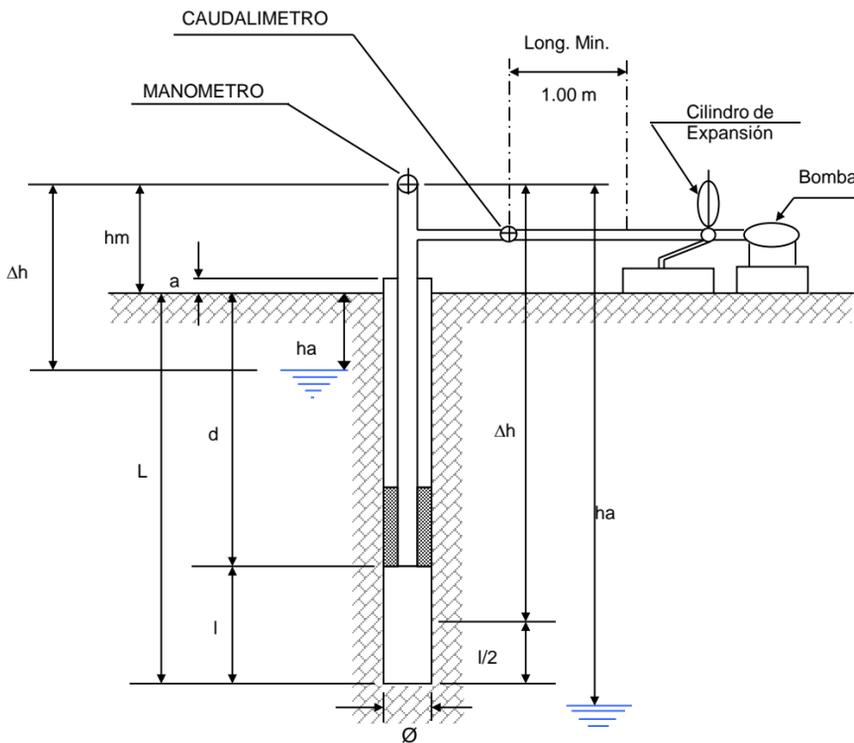


**OBSERVACIONES:** RELLENO

Los lugeones decrecen en el proceso de prueba, entonces los vacíos son gradualmente rellenados, frecuentemente se usa el último valor lugeon (1.22)

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

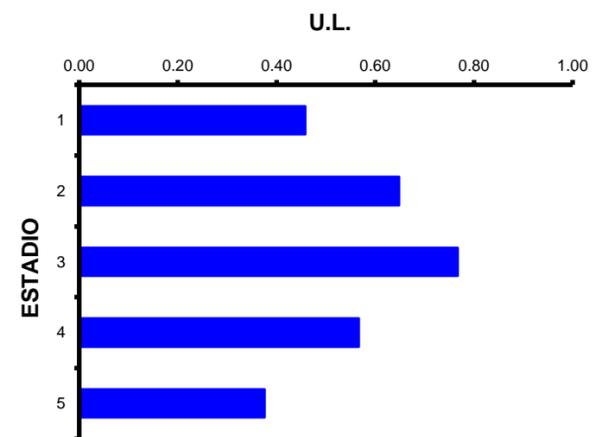
<b>PROYECTO :</b>	C.H. LAS PIZARRAS	<b>SONDAJE Nº</b>	SD4	<b>ENSAYO Nº</b>	2	<b>COORD. NORTE:</b>	9267258.55	
<b>UBICACIÓN:</b>	SANTA CRUZ- CAJAMARCA	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b>	10.00	A	15.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b>	721598.18	
<b>CÓDIGO:</b>		<b>FECHA :</b>	22/01/2010	Hr.INIC.	16:00	<b>FIN :</b>	17:40	
		<b>LITOLÓG. DEL TRAMO :</b>	ROCA CALIZA				<b>INCLINACIÓN:</b>	90°
						<b>COTA (m.s.n.m.):</b>	1168.3	



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	1.80	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.59	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO		m
Δh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	14.30	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	10.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	15.00	m
α	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	90	°
Δh'	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	14.30	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
P <sub>M</sub>	=	PRESION MANOMETRICA		
P <sub>EF</sub>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Δp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 0.75 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 3.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 0.75 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)								
0	505.5		510.0		527.5		547.1		556.1	
1	506.0	0.50	510.8	0.80	529.0	1.50	548.0	0.90	556.5	0.40
2	506.5	0.50	511.8	1.00	531.1	2.10	548.9	0.90	556.8	0.30
3	507.0	0.50	512.8	1.00	532.7	1.60	549.7	0.80	557.4	0.60
4	507.5	0.50	513.8	1.00	534.3	1.60	550.5	0.80	557.8	0.40
5			514.7	0.90	536.0	1.70	551.4	0.90	558.1	0.30
6			515.6	0.90	537.8	1.80	552.2	0.80	558.6	0.50
7			516.6	1.00	539.5	1.70	553.0	0.80	559.1	0.50
8			517.6	1.00	541.0	1.50	553.7	0.70	559.4	0.30
9			518.6	1.00	542.7	1.70	554.6	0.90	559.8	0.40
10			519.5	0.90	544.5	1.80	555.4	0.80	560.2	0.40
qt (l)	2.00		9.50		17.00		8.30		4.10	
G (l/min)	0.50		0.95		1.70		0.83		0.41	
Q (l/min/m)	0.10		0.19		0.34		0.17		0.08	
Δp (kg/cm <sup>2</sup> )										
P <sub>EF</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	2.18		2.93		4.43		2.93		2.18	
UL	0.46		0.65		0.77		0.57		0.38	

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

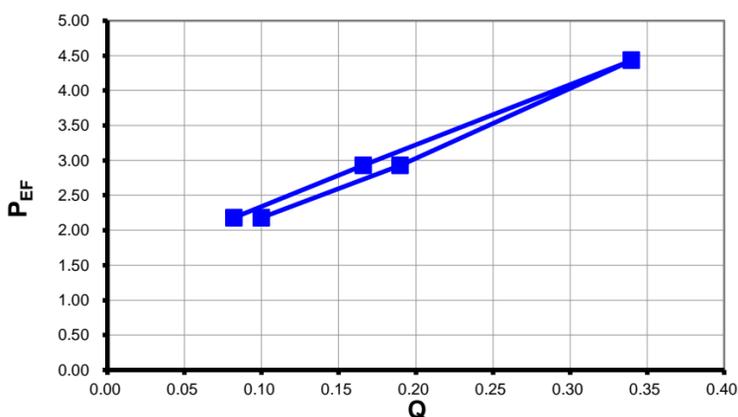


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 0.38 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 4.94E-06 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**

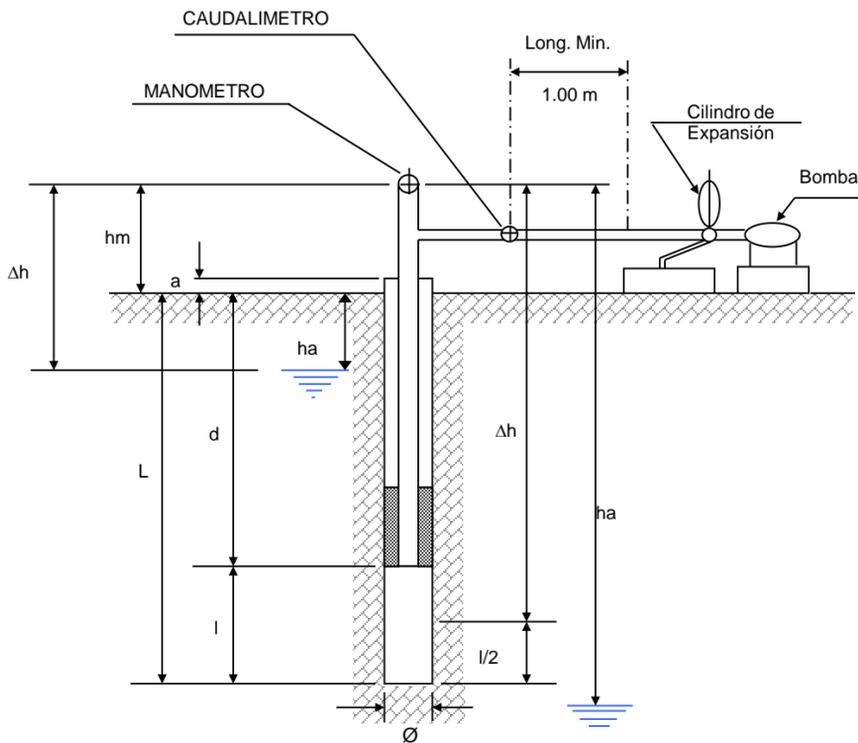


**OBSERVACIONES: DILATACIÓN**

El valor lugeon mas alto ocurre en la presión máxima, entonces se usa los valores de las presiones mínimas o medias

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

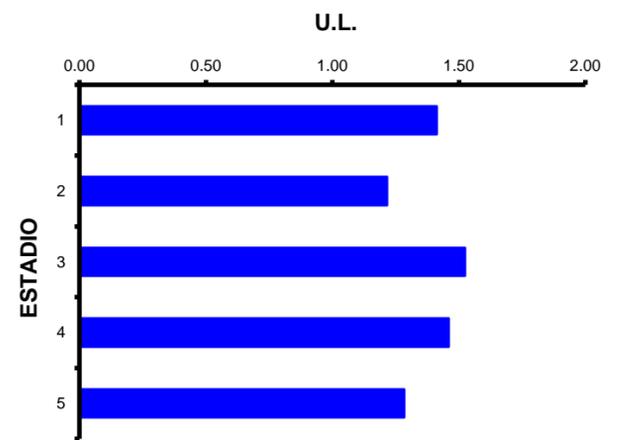
<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS <b>UBICACIÓN:</b> SANTA CRUZ- CAJAMARCA <b>CÓDIGO:</b>	<b>SONDAJE N°</b> SD4	<b>ENSAYO N°</b> 4	<b>COORD. NORTE:</b> 9267258.55
	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b> 20.00 A 25.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b> 721598.81	
	<b>FECHA :</b> 26/02/2010 <b>Hr.INIC.</b> 9:00 <b>FIN :</b> 10:00	<b>INCLINACIÓN:</b> 90°	
	<b>LITOLÓG. DEL TRAMO :</b> ROCA CALIZA	<b>COTA (m.s.n.m.):</b> 1168.3	



<b>hm</b>	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.67	m
<b>a</b>	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.30	m
<b>ha</b>	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO		m
<b>Δh</b>	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	23.17	m
<b>d</b>	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	20.00	m
<b>L</b>	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	25.00	m
<b>α</b>	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	90	°
<b>Δh'</b>	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	23.17	m
<b>l</b>	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
<b>Ø</b>	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	=	PRESION MANOMETRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	=	PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 4.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 8.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 4.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)								
0	761.5		807.0		880.5		970.0		25.5	
1	764.9	3.40	811.6	4.60	887.7	7.20	974.7	4.70	28.3	2.80
2	767.9	3.00	815.5	3.90	895.5	7.80	979.2	4.50	31.1	2.80
3	770.9	3.00	819.4	3.90	903.3	7.80	983.7	4.50	33.9	2.80
4	773.9	3.00	823.3	3.90	911.0	7.70	988.3	4.60	36.6	2.70
5	777.0	3.10	826.9	3.60	919.0	8.00	992.9	4.60	39.5	2.90
6	780.0	3.00	830.5	3.60	926.5	7.50	997.5	4.60	42.2	2.70
7	783.0	3.00	834.2	3.70	934.0	7.50	1002.1	4.60	45.0	2.80
8	786.1	3.10	837.9	3.70	942.7	8.70	1006.7	4.60	47.8	2.80
9	789.1	3.00	841.6	3.70	950.8	8.10	1011.4	4.70	50.5	2.70
10	792.0	2.90			959.1	8.30	1016.1	4.70	53.2	2.70
<b>qt (l)</b>		30.50		34.60		78.60		46.10		27.70
<b>G (l/min)</b>		3.05		3.84		7.86		4.61		2.77
<b>Q (l/min/m)</b>		0.61		0.77		1.57		0.92		0.55
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		4.32		6.32		10.32		6.32		4.32
<b>U L</b>		<b>1.41</b>		<b>1.22</b>		<b>1.52</b>		<b>1.46</b>		<b>1.28</b>

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

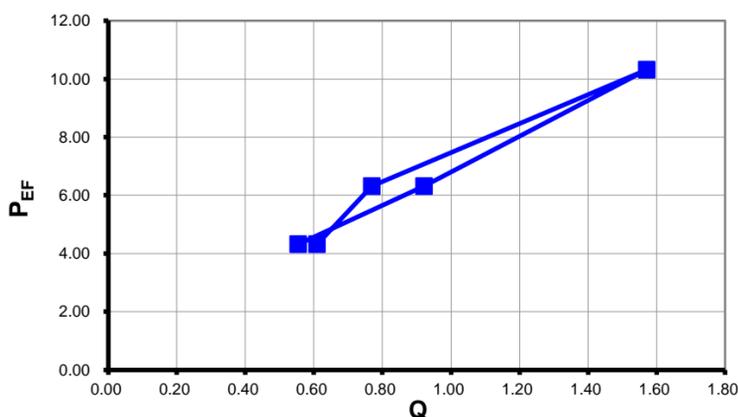


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 1.28 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 1.66E-05 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**



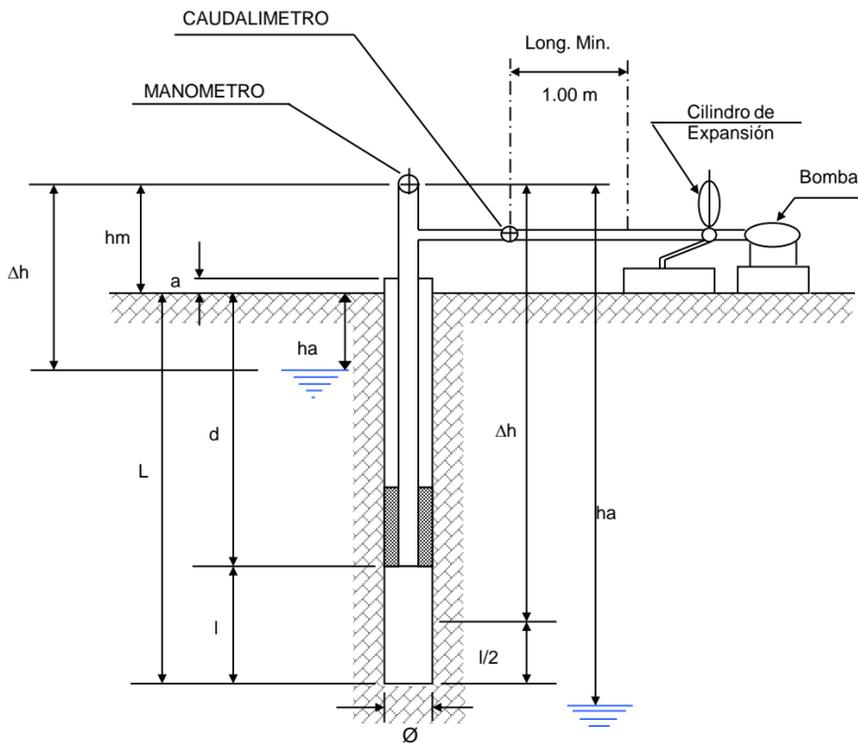
**OBSERVACIONES:**

**FLUJO DILATACIÓN**

*Se generaliza como Dilatación, entonces se usa los valores lugeon para las presiones mínimas y medias*

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

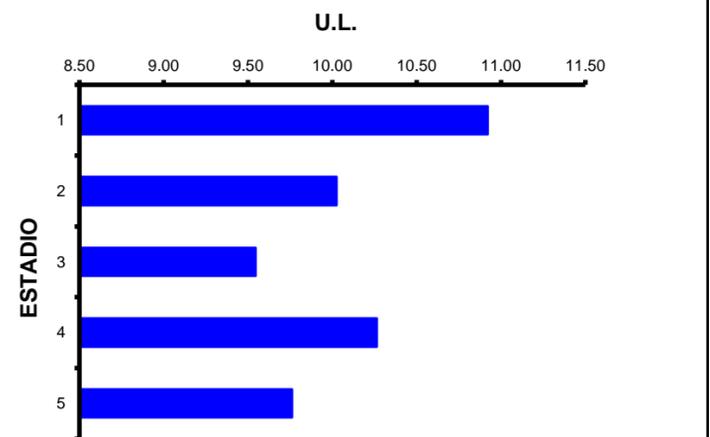
PROYECTO : <b>C.H. LAS PIZARRAS</b> UBICACIÓN: <b>SANTA CRUZ- CAJAMARCA</b> CÓDIGO:	SONDAJE N° <b>SD5</b>	ENSAYO N° <b>5</b>	COORD. NORTE: <b>9267238.81</b>
	PROF. DE ENSAYO DE : <b>25.00</b> <b>A</b> <b>30.00</b> <b>m.</b>	COORD. ESTE: <b>721599.98</b>	
	FECHA : <b>13/02/2010</b> Hr.INIC. <b>14:00</b> FIN : <b>16:00</b>	INCLINACIÓN: <b>43°</b>	
	LITOLÓG. DEL TRAMO : <b>ROCA</b>	COTA (m.s.n.m.): <b>1178.4</b>	



<b>hm</b>	= ALTURA DEL MANÓMETRO	<b>0.80</b>	m
<b>a</b>	= ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	<b>0.30</b>	m
<b>ha</b>	= PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO		m
<b>Δh</b>	= SOBRECARGA HIDRÁULICA	<b>28.30</b>	m
<b>d</b>	= PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	<b>25.00</b>	m
<b>L</b>	= PROFUNDIDAD DE PERFORACION	<b>30.00</b>	m
<b>α</b>	= INCLINACION C/HORIZONTAL	<b>43</b>	°
<b>Δh'</b>	= Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	<b>19.30</b>	m
<b>l</b>	= LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	<b>5.00</b>	m
<b>Ø</b>	= DIÁMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	<b>6.35</b>	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	= PRESION MANOMÉTRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	= PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	= PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	= VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	= VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	= CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	= CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	= UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	Kg/cm <sup>2</sup> P <sub>M</sub> = 1.00		Kg/cm <sup>2</sup> P <sub>M</sub> = 2.00		Kg/cm <sup>2</sup> P <sub>M</sub> = 4.00		Kg/cm <sup>2</sup> P <sub>M</sub> = 2.00		Kg/cm <sup>2</sup> P <sub>M</sub> = 1.00	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)	LECTURA CAUDAL.	q (l)	LECTURA CAUDAL.	q (l)	LECTURA CAUDAL.	q (l)	LECTURA CAUDAL.	q (l)
0	420.0		620.0		120.0		440.0		660.0	
1	437.0	17.00	641.0	21.00	149.0	29.00	460.0	20.00	674.0	14.00
2	453.0	16.00	662.0	21.00	178.0	29.00	480.0	20.00	689.0	15.00
3	469.0	16.00	682.0	20.00	206.0	28.00	501.0	21.00	703.0	14.00
4	484.0	15.00	701.0	19.00	234.0	28.00	521.0	20.00	717.0	14.00
5	500.0	16.00	720.0	19.00	262.0	28.00	541.0	20.00	732.0	15.00
6	516.0	16.00	740.0	20.00	290.0	28.00	561.0	20.00	746.0	14.00
7			759.0	19.00	318.0	28.00			761.0	15.00
8			779.0	20.00	349.0	31.00			775.0	14.00
9			798.0	19.00	374.0	25.00			789.0	14.00
10			817.0	19.00	403.0	29.00			803.0	14.00
<b>qt (l)</b>		96.00		197.00		283.00		121.00		143.00
<b>G (l/min)</b>		16.00		19.70		28.30		20.17		14.30
<b>Q (l/min/m)</b>		3.20		3.94		5.66		4.03		2.86
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		2.93		3.93		5.93		3.93		2.93
<b>U L</b>		<b>10.92</b>		<b>10.03</b>		<b>9.54</b>		<b>10.26</b>		<b>9.76</b>

**GRÁFICO DE PATRÓN DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

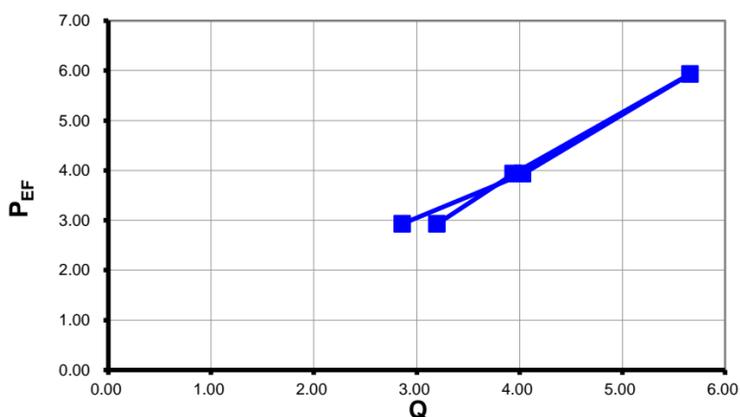


UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : **9.54** U L

K (PERMEABILIDAD) : **1.24E-04** cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**

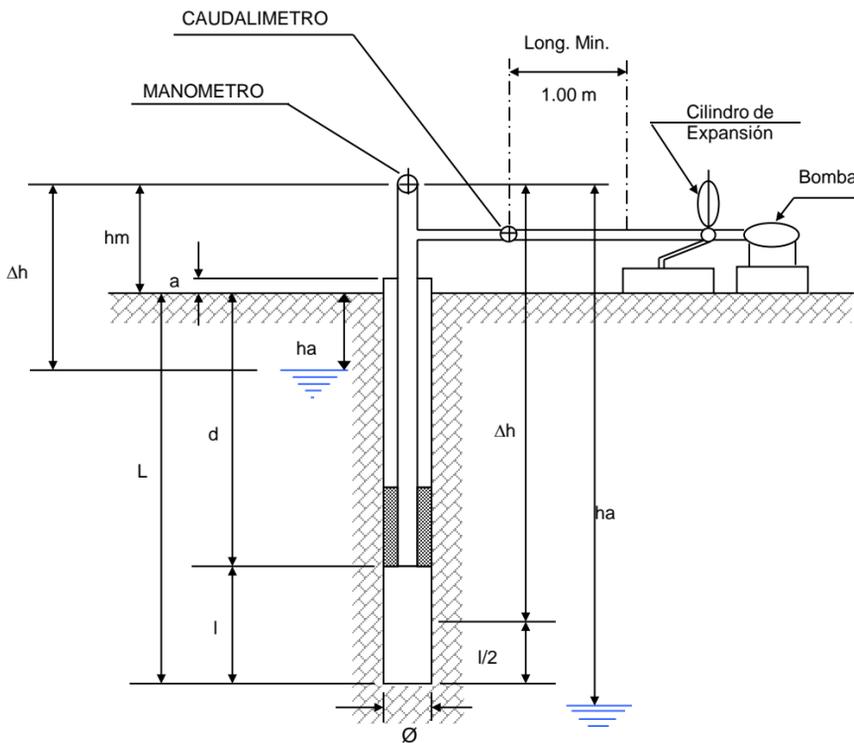


**OBSERVACIONES:** **FLUJO TURBULENTO**

Se puede generalizar como un Flujo turbulento, el valor lugeon ocurre para la máxima presión (9.54)

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

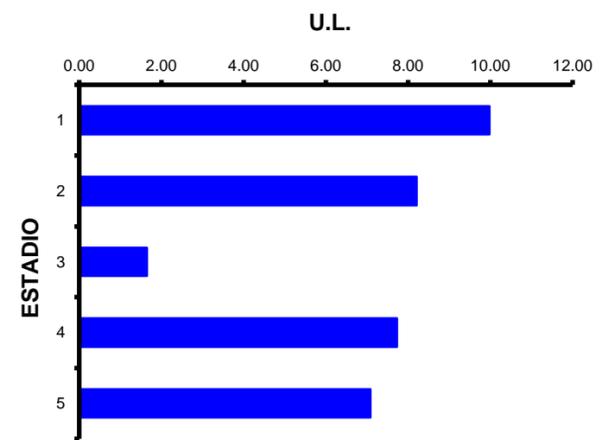
<b>PROYECTO :</b>	C.H. LAS PIZARRAS	<b>SONDAJE Nº</b>	SD6	<b>ENSAYO Nº</b>	1	<b>COORD. NORTE:</b>	9267258.55	
<b>UBICACIÓN:</b>	SANTA CRUZ- CAJAMARCA	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b>	11.00	<b>A</b>	16.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b>	721598.81	
<b>CÓDIGO:</b>		<b>FECHA :</b>	17/01/2010	<b>Hr.INIC.</b>	15:00	<b>FIN :</b>	16:30	
		<b>LITOLÓG. DEL TRAMO :</b>	ROCA CALIZA				<b>INCLINACIÓN:</b>	40°
						<b>COTA (m.s.n.m.):</b>	1168.3	



<b>hm</b>	=	ALTURA DEL MANOMETRO	1.20	m
<b>a</b>	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.00	m
<b>ha</b>	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO	3.00	m
<b>Δh</b>	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	4.20	m
<b>d</b>	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	11.00	m
<b>L</b>	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	16.00	m
<b>α</b>	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	40	°
<b>Δh'</b>	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	2.70	m
<b>l</b>	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
<b>Ø</b>	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	=	PRESION MANOMETRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	=	PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 1.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 4.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.00 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)								
0	299.3		401.2		594.4		745.8		859.2	
1	305.7	6.40	410.5	9.30	607.6	13.20	753.4	7.60	863.5	4.30
2	312.2	6.50	420.6	10.10	622.4	14.80	762.6	9.20	868.0	4.50
3	318.4	6.20	428.7	8.10	636.5	14.10	772.0	9.40	872.6	4.60
4	325.8	7.40	437.5	8.80	350.0	-286.50	780.2	8.20	877.5	4.90
5	331.2	5.40	446.2	8.70	363.2	13.20	789.6	9.40	881.7	4.20
6	337.6	6.40	455.7	9.50	377.5	14.30	797.5	7.90	886.2	4.50
7	344.0	6.40	464.3	8.60	390.7	13.20	806.7	9.20	889.7	3.50
8	350.0	6.00	473.4	9.10	604.0	213.30	815.7	9.00	895.3	5.60
9			483.0	9.60	616.6	12.60	824.8	9.10	900.0	4.70
10			494.3	11.30	629.6	13.00	833.5	8.70	904.2	4.20
<b>qt (l)</b>		50.70		93.10		35.20		87.70		45.00
<b>G (l/min)</b>		6.34		9.31		3.52		8.77		4.50
<b>Q (l/min/m)</b>		1.27		1.86		0.70		1.75		0.90
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		1.27		2.27		4.27		2.27		1.27
<b>UL</b>		<b>9.98</b>		<b>8.20</b>		<b>1.65</b>		<b>7.73</b>		<b>7.09</b>

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

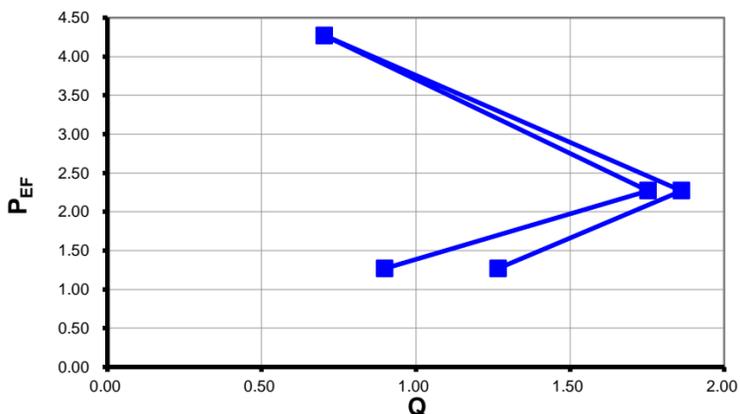


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 1.65 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 2.15E-05 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**

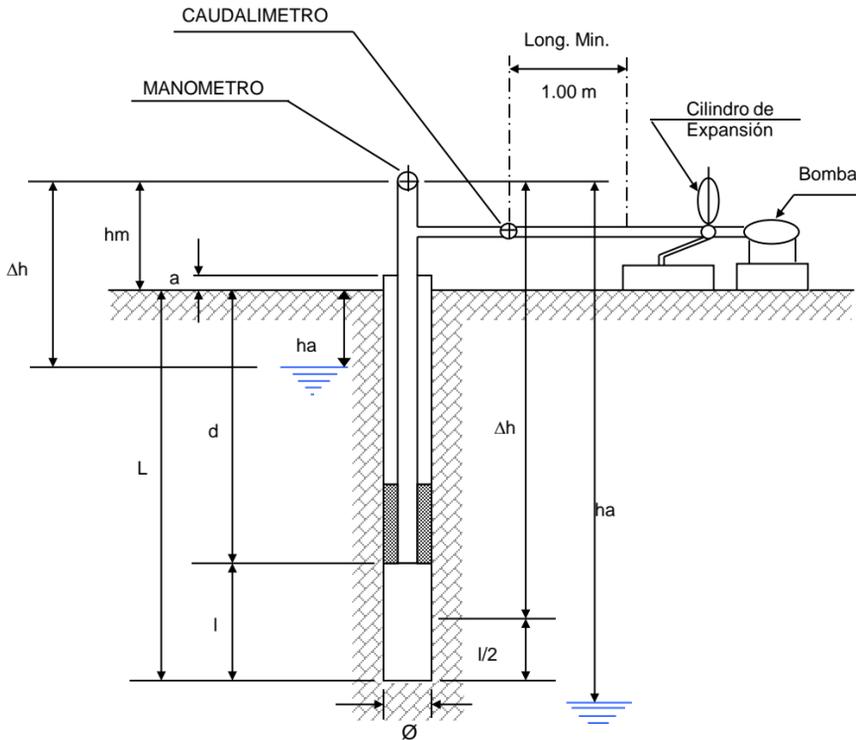


**OBSERVACIONES:** FLUJO TURBULENTO

*El valor lugeon mas bajo ocurre para la presión máxima, entonces se usa el valor lugeon para la presión máxima*

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

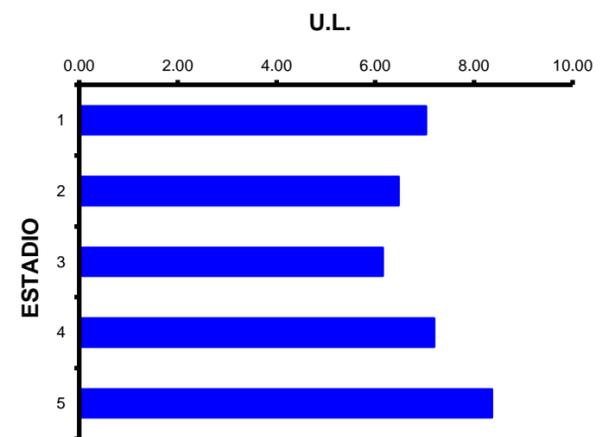
<b>PROYECTO :</b>	C.H. LAS PIZARRAS	<b>SONDAJE Nº</b>	SD6	<b>ENSAYO Nº</b>	3	<b>COORD. NORTE:</b>	8944756.295
<b>UBICACIÓN:</b>	SANTA CRUZ- CAJAMARCA	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b>	21.00	A	25.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b>	277431.341
<b>CÓDIGO:</b>		<b>FECHA :</b>	20/01/2010	Hr.INIC.	16:18	<b>FIN :</b>	17:40
		<b>LITOLÓG. DEL TRAMO :</b>	ROCA CALIZA				
						<b>INCLINACIÓN:</b>	40°
						<b>COTA (m.s.n.m.):</b>	1168.3



<b>hm</b>	=	ALTURA DEL MANOMETRO	1.60	m
<b>a</b>	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.00	m
<b>ha</b>	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO	3.00	m
<b>Δh</b>	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	4.60	m
<b>d</b>	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	21.00	m
<b>L</b>	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	25.00	m
<b>α</b>	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	40	°
<b>Δh'</b>	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	2.96	m
<b>l</b>	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	4.00	m
<b>Ø</b>	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	=	PRESION MANOMETRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	=	PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 3.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 6.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 3.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)								
0	778.5		871.0		0.0		190.0		301.5	
1	783.8	5.30	879.7	8.70	16.5	16.50	199.6	9.60	307.6	6.10
2	789.0	5.20	888.3	8.60	31.9	15.40	209.3	9.70	313.5	5.90
3	794.0	5.00	896.8	8.50	47.4	15.50	218.6	9.30	319.5	6.00
4	798.0	4.00	904.0	7.20	62.6	15.20	228.8	10.20	325.5	6.00
5	803.0	5.00	914.0	10.00	78.0	15.40	237.6	8.80	331.5	6.00
6	809.0	6.00	922.5	8.50	93.4	15.40	247.1	9.50	337.5	6.00
7	814.0	5.00	931.0	8.50	108.8	15.40	256.5	9.40	342.5	5.00
8	819.1	5.10	940.5	9.50	124.3	15.50	266.0	9.50	349.5	7.00
9	824.1	5.00	947.8	7.30	139.6	15.30	275.4	9.40	355.6	6.10
10	829.0	4.90	956.3	8.50	155.0	15.40	284.8	9.40	361.6	6.00
<b>qt (l)</b>		50.50		85.30		155.00		94.80		60.10
<b>G (l/min)</b>		5.05		8.53		15.50		9.48		6.01
<b>Q (l/min/m)</b>		1.26		2.13		3.88		2.37		1.50
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		1.80		3.30		6.30		3.30		1.80
<b>UL</b>		<b>7.03</b>		<b>6.47</b>		<b>6.16</b>		<b>7.19</b>		<b>8.37</b>

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

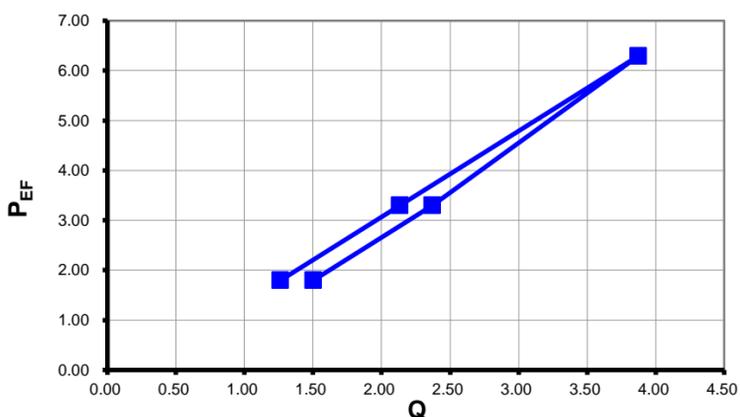


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 6.16 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 8.01E-05 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

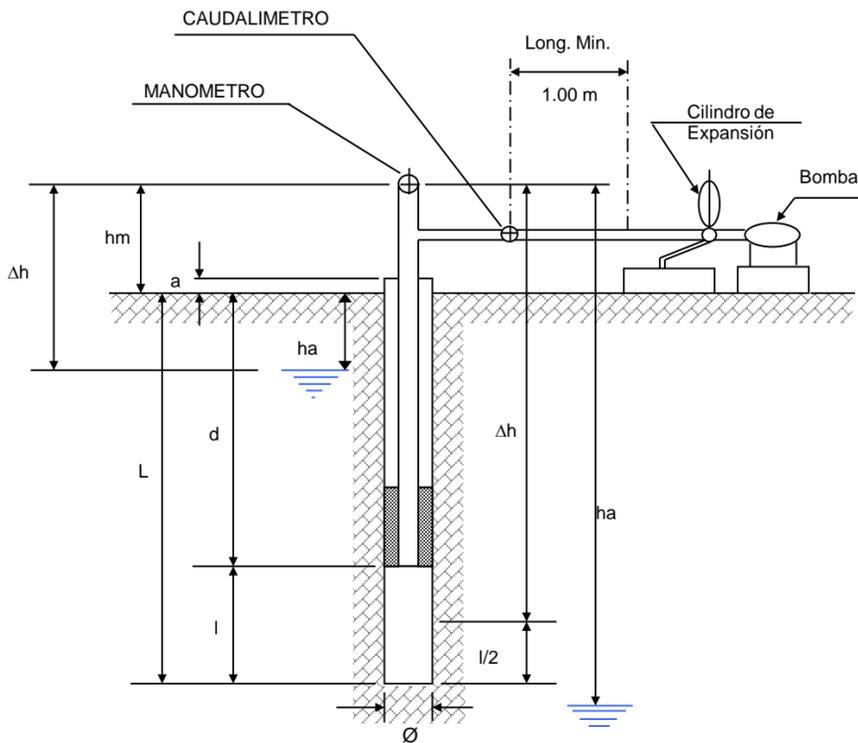
**REPRESENTACION GRAFICA**



**OBSERVACIONES:** FLUJO TURBULENTO  
*Generalizando es un Flujo Turbulento, entonces se usa el valor lugeon para la máxima presión*

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN TIPO LUGEON

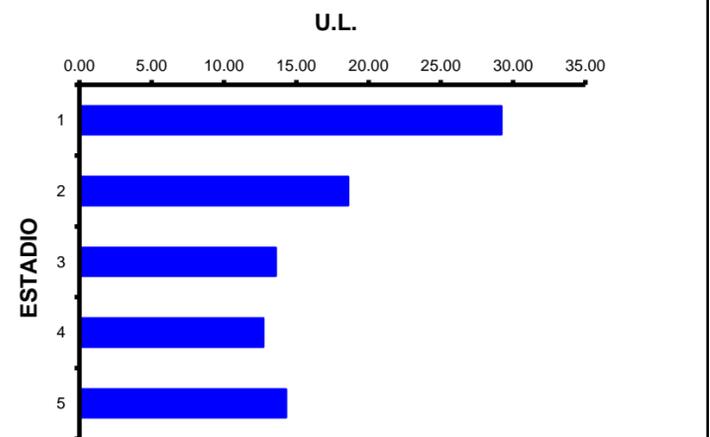
<b>PROYECTO :</b> C.H. LAS PIZARRAS <b>UBICACIÓN:</b> SANTA CRUZ- CAJAMARCA <b>CÓDIGO:</b>	<b>SONDAJE N°</b> SD7	<b>ENSAYO N°</b> 4	<b>COORD. NORTE:</b> 9267239.05
	<b>PROF. DE ENSAYO DE :</b> 55.00 A 60.00 m.	<b>COORD. ESTE:</b> 721601.76	
	<b>FECHA :</b> 9/02/2010 <b>Hr.INIC.</b> 17:00 <b>FIN :</b> 18:40	<b>INCLINACIÓN:</b> 43	
	<b>LITOLOG. DEL TRAMO :</b> ROCA CALIZA	<b>COTA (m.s.n.m.):</b> 1178.4	



<b>hm</b>	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.80	m
<b>a</b>	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.30	m
<b>ha</b>	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO		m
<b>Δh</b>	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	58.30	m
<b>d</b>	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	55.00	m
<b>L</b>	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	60.00	m
<b>α</b>	=	INCLINACION C/HORIZONTAL		°
<b>Δh'</b>	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	0.00	m
<b>l</b>	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
<b>Ø</b>	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	6.35	cm
<b>P<sub>M</sub></b>	=	PRESION MANOMETRICA		
<b>P<sub>EF</sub></b>	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
<b>Δp</b>	=	PERDIDAS DE CARGA		
<b>q</b>	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
<b>qt</b>	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
<b>G</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
<b>Q</b>	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
<b>UL</b>	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> = 1.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 4.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		P <sub>M</sub> = 1.00 Kg/cm <sup>2</sup>	
	LECTURA CAUDAL.	q (l)	LECTURA CAUDAL.	q (l)						
0	0.0		200.0		300.0		465.0		600.0	
1	19.0	19.00	221.0	21.00	330.0	30.00	478.8	13.80	606.6	6.60
2	37.0	18.00	239.0	18.00	358.0	28.00	487.5	8.70	613.8	7.20
3	52.0	15.00	257.0	18.00	385.0	27.00	499.3	11.80	620.8	7.00
4	66.0	14.00	275.0	18.00	411.0	26.00	511.2	11.90	627.9	7.10
5	80.0	14.00	293.0	18.00	437.0	26.00	524.3	13.10	635.0	7.10
6	93.0	13.00			463.0	26.00	538.6	14.30	642.2	7.20
7	107.0	14.00					552.6	14.00	649.5	7.30
8	120.0	13.00					565.2	12.60	656.9	7.40
9	133.0	13.00					578.8	13.60	664.2	7.30
10	146.0	13.00					592.4	13.60	671.5	7.30
<b>qt (l)</b>	146.00		93.00		163.00			127.40		71.50
<b>G (l/min)</b>	14.60		18.60		27.17			12.74		7.15
<b>Q (l/min/m)</b>	2.92		3.72		5.43			2.55		1.43
<b>Δp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>										
<b>P<sub>EF</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1.00		2.00		4.00		2.00		1.00	
<b>UL</b>	<b>29.20</b>		<b>18.60</b>		<b>13.58</b>		<b>12.74</b>		<b>14.30</b>	

**GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON**

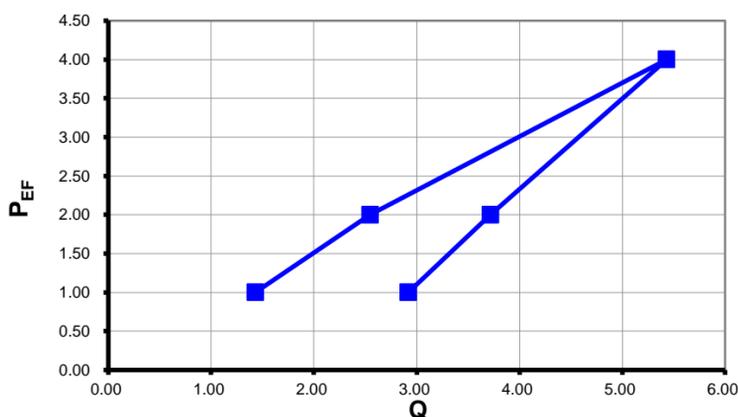


**UNIDAD LUGEON SELECCIONADA :** 13.58 U L

**K (PERMEABILIDAD) :** 1.77E-04 cm/s

$$P_{EF} = P_M - \Delta p + \Delta h / 10$$

**REPRESENTACION GRAFICA**



**OBSERVACIONES:** FLUJO TURBULENTO  
*De los valores lugeon se puede generalizar como un flujo turbulento se usara el valor lugeon para la máxima presión*

**ANEXO VIII**  
**INFORME PETROGRÁFICO**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

---

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

## ***Informe Petrográfico***

*Para:*

***EMPRESA ELECTRICA RIO DOBLE S.A.***

*Abril, 2010*



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

### 1.0. Descripción del Servicio Solicitado

Se desarrollo la evaluación correspondiente para determinar el tipo de roca, a continuación se detalla:

*Macroscópica*; se describe las características de la muestra en dimensiones mayores iguales a 1 mm

### 2.0. Metodología

Para cada caso se describirá los procedimientos seguidos:

#### 2.1. Macroscópico

Mediante observación a través del microscopio estereoscópico y de la lupa de 10X de aumento; se describe la morfología e interrelación de los componentes. Así mismo se identifica los minerales que la componen.

### 3.0. Descripción macroscópica de las muestras

A continuación se describirá cada una de las muestras; las cuales tienen el siguiente código y coordenadas:

SONDEOS	COORDENADAS	
	N	E
SD1-A	9267278.20	721546.45
SD1-B	9267278.20	721546.45
SD2	9267258.61	721553.16
SD3	9267258.77	721555.16
SD5	9267238.81	721599.98
SD10	9265573.51	719920.32
SD11-A	9265460.57	719850.51
SD11-B	9265460.57	719850.51



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 1 - A

**Características Principales:**

Mineralogía: Cristales finos carbonatos y en concentración reemplazando bioclastos?

Textura: Clástica de grano fino con presencia de bioformas, dispuestas en forma aleatoria, grano soportada

Estructura: Masiva

Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta un aspecto masivo de coloración gris oscuro, de grano fino altamente reactiva en presencia de del HCl; con presencia evidente de bioformas (moluscos?) reemplazadas por carbonatos, las cuales no presentan orientación definida Es resistente a golpes de martillo.*

*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una roca carbonatada (Packstone) con presencia de bioclastos*





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 1B

Mineralogía: Cristales finos carbonatos, relleno de fracturas y en concentración reemplazando finos bioclastos?

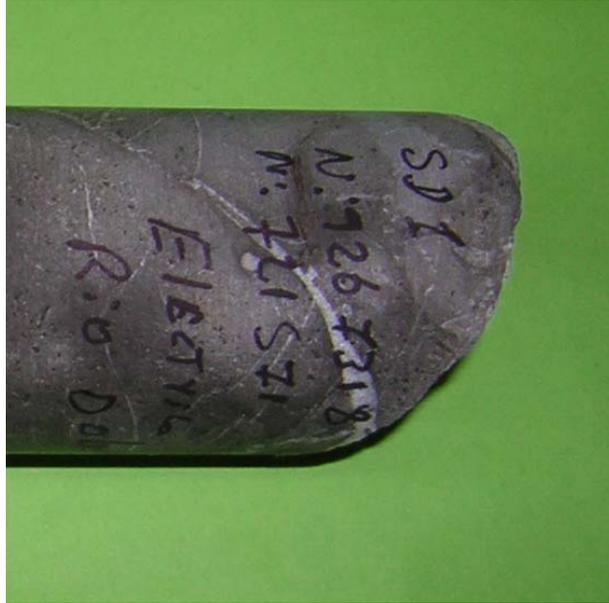
Textura: Clásica de grano fino con presencia de pequeñas bioformas, dispuestos en forma aleatoria, matriz soportada

Estructura: Masiva

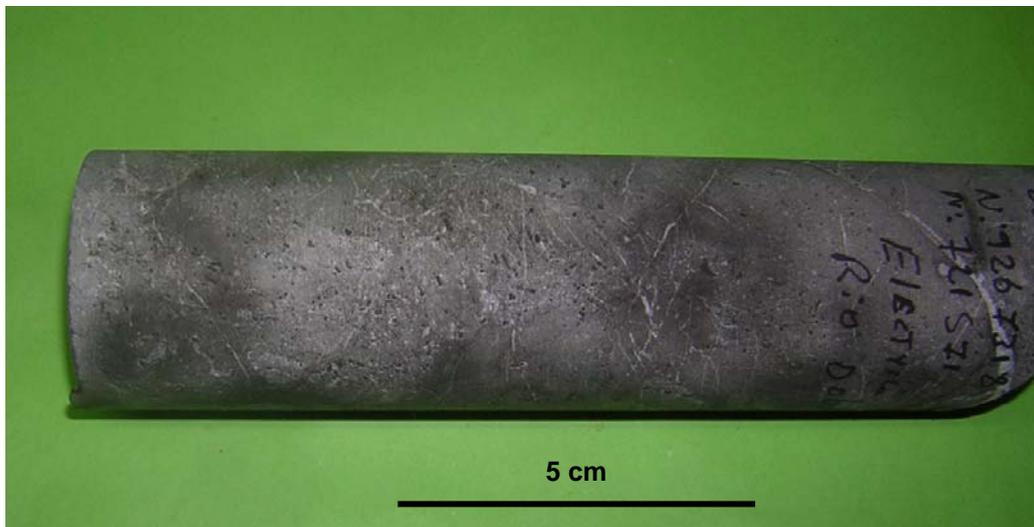
Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta un aspecto masivo de coloración gris oscuro, de grano fino altamente reactiva en presencia de HCl; con presencia evidente de bioclastos reemplazados por carbonatos, las cuales no presentan orientación definida. Es resistente a golpes de martillo.*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una roca carbonatada (Grainstone) con presencia de bioclastos*



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Telefax: (511) 482-7392 (511) 382-2174 Central Telefónica: (511) 481-1070, Anexo 346

e-mail: laboratorio\_mineralogia@uni.edu.pe



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 2

**Características Principales:**

Mineralogía: Cristales finos carbonatos y en concentración reemplazando finos bioclastos?

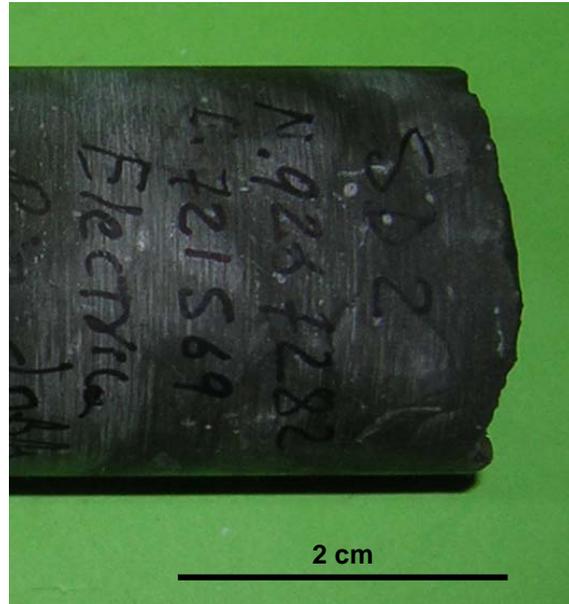
Textura: Clástica de grano fino con presencia de bioformas, dispuestos en forma aleatoria, matriz soportada

Estructura: Masiva

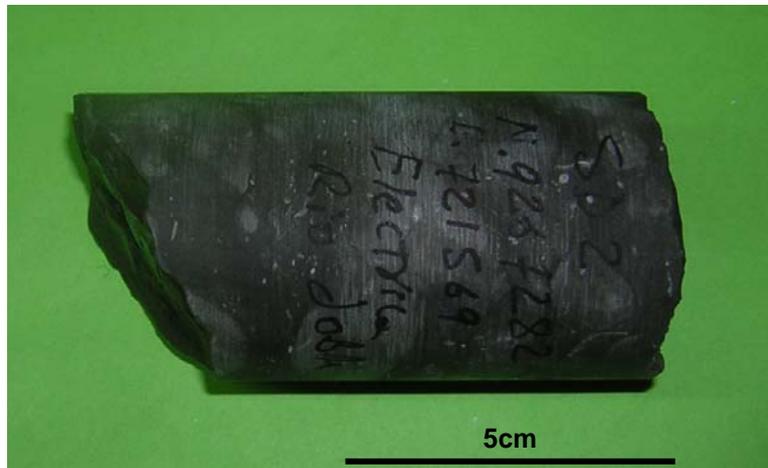
Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta un aspecto masivo de coloración gris oscuro, de grano fino altamente reactiva en presencia de del HCl; con presencia evidente de bioclastos reemplazadas por carbonatos, las cuales no presentan orientación definida Es resistente a golpes de martillo.*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una roca carbonatada (Wackestone) con presencia de bioclastos*





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 3

**Características Principales:**

Mineralogía: Cristales finos carbonatos y en concentración ocupando finas fracturas

Textura: Clástica de grano fino, matriz soportada

Estructura: Masiva

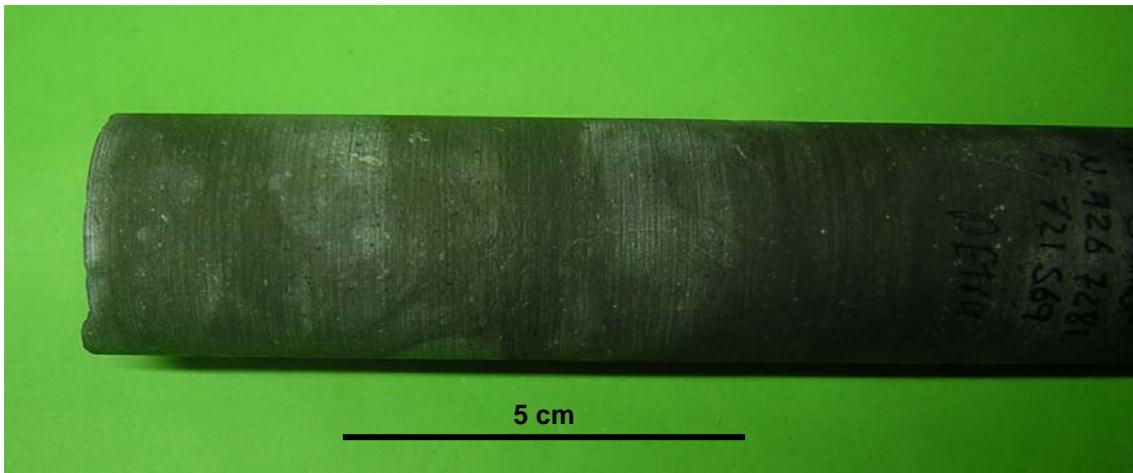
Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta un aspecto masivo de coloración gris oscuro, de grano fino altamente reactiva en presencia de del HCl. Débilmente resistente a golpes de martillo.*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una roca carbonatada.*





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 5

**Características Principales:**

Mineralogía: Silicificación y pirita diseminada.

Textura: La disposición y la morfología de los componentes evidencian una estructura brechosa producto de una posible zona de fallamiento.

Estructura: Masiva

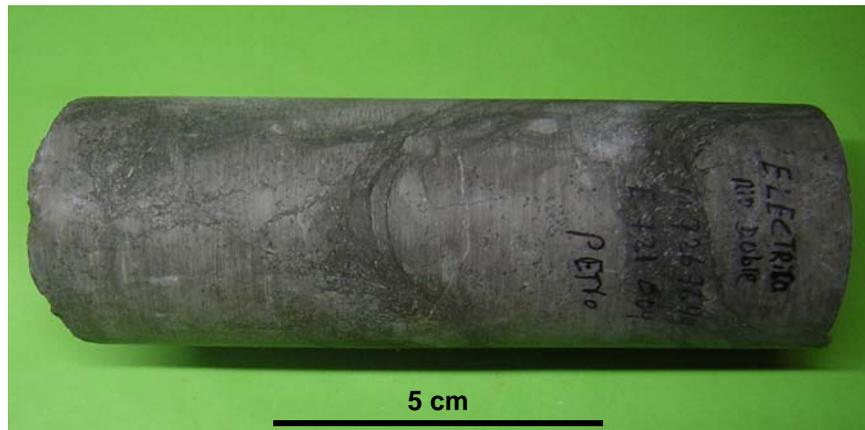
Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta una estructura brechosa, posiblemente en zona de fallamiento; los clastos se encuentran silicificados. Se observa presencia de pirita muy fina (aprox. < 5 %) en la matriz.*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como roca carbonatada (Wackestone) con presencia de bioclastos y de aspecto brechoso*





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 10

**Características Principales:**

Mineralogía: Cristales de tabulares de plagioclasas, pirita y magnetita.

Textura: Grano fino, afanítica

Estructura: Masiva

Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta un aspecto masivo de coloración gris oscuro a claro con presencia de pequeños cristales tabulares de plagioclasas en la matriz afanítica. Se observa diseminaciones de pirita (< 1%) y magnetita (aprox. 5%)*

*Resistente a golpes de martillo*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una andesita de grano fino (cristales tabulares de plagioclasas), con diseminaciones de pirita y magnetita.*



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Telefax: (511) 482-7392 (511) 382-2174 Central Telefónica: (511) 481-1070, Anexo 346

e-mail: laboratorio\_mineralogia@uni.edu.pe



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 11 – A

**Características Principales:**

**Mineralogía:**

Cristales finos de feldespatos y plagioclasas sub angulosos, cuarzo subhedral y de grano fino.

**Textura:**

Holocristalina. Inequigranular de Fenocristales de cuarzo y afanítica de matriz (composición riolítica?) grano sostenida.

**Estructura:** Masiva

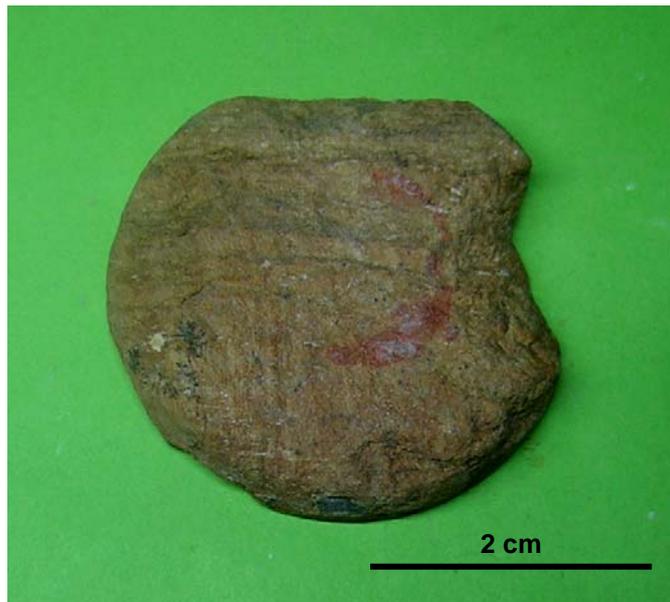
**Fábrica:** Isótropa

**Roca:**

*La muestra presenta un aspecto masivo de coloración pardo claro por la presencia de feldespato potásico y pequeños cristales de plagioclasas; matriz de composición riolítica? exhibiendo finos bandeamientos de compuesto de cuarzos amorfo. Débilmente resistente a golpes de martillo.*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como un tufo de grano fino (inequigranular) de composición riolítica mostrando finos bandeamientos de cuarzo amorfo.*



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Telefax: (511) 482-7392 (511) 382-2174 Central Telefónica: (511) 481-1070, Anexo 346

e-mail: laboratorio\_mineralogia@uni.edu.pe



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra:** SD 11 - B

**Características Principales:**

Mineralogía:

Cristales finos feldespatos potasicos

Textura:

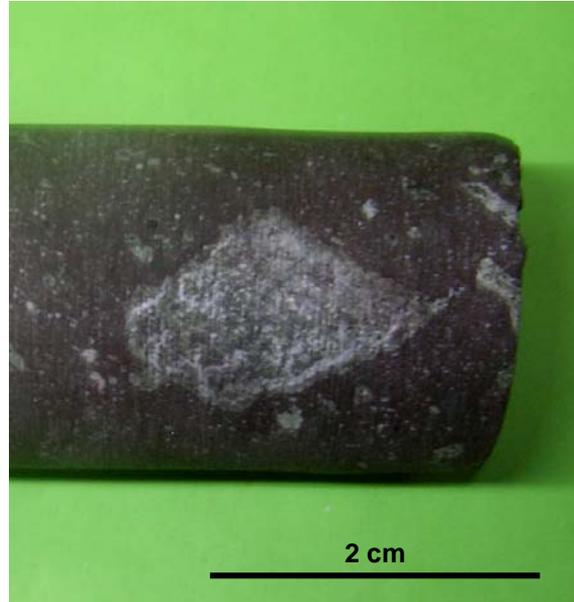
Holocristalina. Fragmentos líticos (composición andesítica) heterométricos angulosos a subangulosos y afanítica de matriz (riolítica?)

Estructura: Masiva

Fábrica: Isótropa

Roca:

*La muestra presenta un aspecto masivo con coloración pardo oscuro con tonalidades grisáceas, disposición de fragmentos líticos los cuales muestran un debil alineamiento (andesíticos?) de coloración gris verdosa clara; matriz afanítica con evidencia de feldespatos y granos de cuarzo dispuestos aleatoriamente. Es resistente a golpes de martillo.*



*De acuerdo a lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una toba riolítica de aspecto brechoide, con fragmentos líticos angulosos a subangulosos de composición andesítica.*





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

### RESUMEN

Las muestras evaluadas se han identificado siguiendo el procedimiento de reconocer los minerales componentes, análisis de la textura y el comportamiento de componentes que pueden caracterizar alteraciones significativas y los cuales según su mayor o menor grado, pueden modificar sustantivamente su denominación.

A continuación resumimos nuestra identificación;

SD1-A : *roca carbonatada fosilífera (Packstone) con presencia de bioclastos*

SD1-B : *roca carbonatada (Grainstone) con presencia de bioclastos*

SD2 : *roca carbonatada (Wackestone) con presencia de bioclastos*

SD3 : *roca carbonatada (Wackestone) con presencia de bioclastos*

SD5 : *roca carbonatada (Wackestone) con presencia de bioclastos y de aspecto brechoso*

SD10 : *andesita de grano fino, con diseminaciones de pirita y magnetita.*

SD11-A : *tufo de grano fino (inequigranular) de composición riolítica*

SD11-B : *toba con matriz de composición riolítica de aspecto brechoide, con fragmentos líticos angulosos a subangulosos de composición andesítica*

El presente informe, se presenta como resultado de las pruebas y observaciones realizadas en el gabinete de nuestro laboratorio.

Sin otro particular



**Marcelo Barzola Esteban**  
CIP. Nro 44990

### **Bibliografía Utilizada**

- **Humberto Chirif** "Compendio del curso de Petrología de Rocas Ígneas y Metamórficas" Lima-Perú.
- **R. Castro Dorado** "Petrográfica Básica", Ediciones Paraninfo – España



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

---

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

**Laboratorio de Mineralogía**

## ***Anexo Fotográfico Descripción***

### ***Microscópica***



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 11 – A**

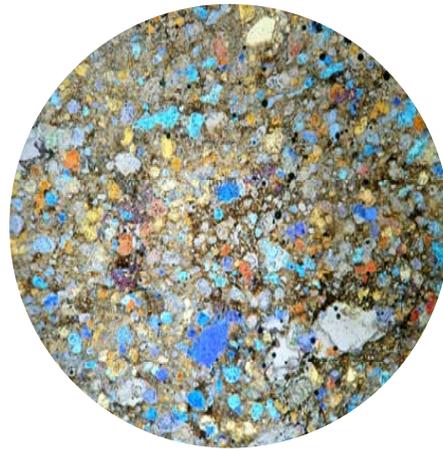
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Fragmentos de cuarzo amorfo heterométrico distribuido aleatoriamente, con matriz afanítica con finos cristales de feldespato potásico.

Concentraciones de cuarzo en pseudo alineamiento

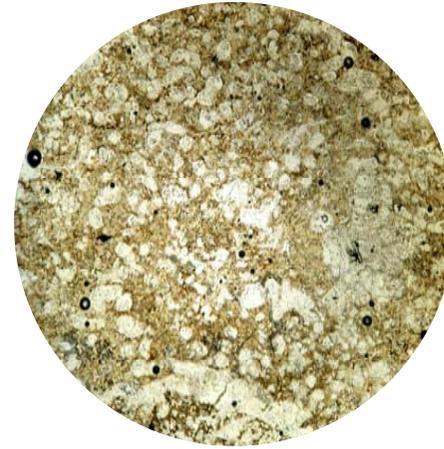
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Textura grano sostenida, sobre matriz afanítica.

Se muestran cuarzos amorfos agrupados, con finos rellenos silicios



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 11 – A**

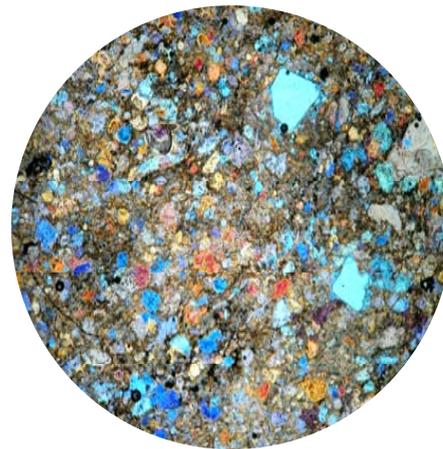
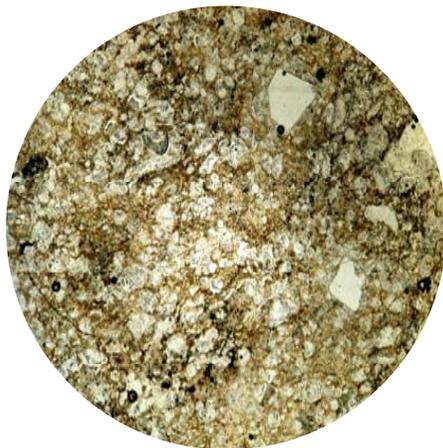
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Fragmentos de cuarzo subangulosos, diferenciados de cuarzoes amorfos agrupados ofreciendo morfología pseudo fluidal.

Matriz afanítica, grano soportada, presencia menor de vidrio volcánico.

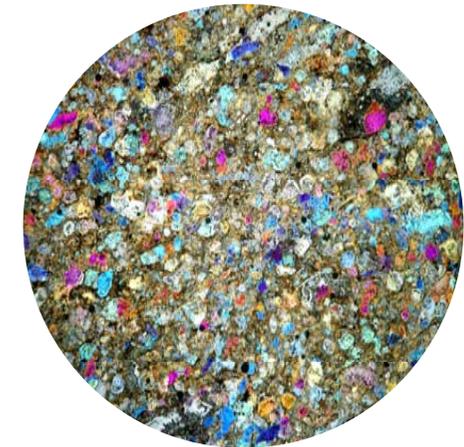
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Similar a las vistas anteriores.

En esta vista puede apreciarse, el alineamiento de las acumulaciones de cuarzo amorfo.

Escasa presencia de vidrio volcánico



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

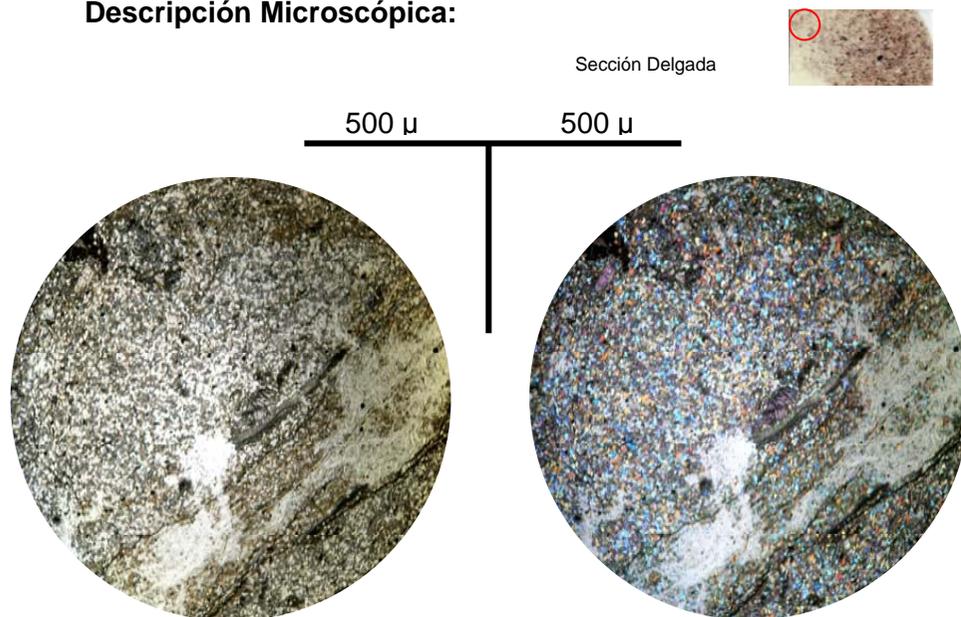
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 1 – A**

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 01 //s**

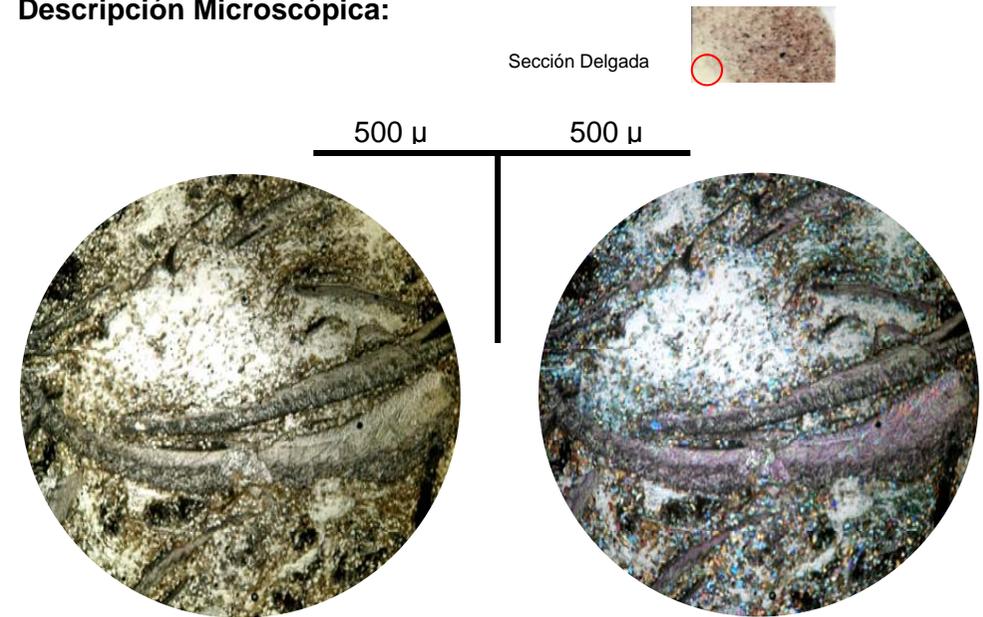
**Foto: 02 Xs**

Se muestran dos zonas:

Una con fragmentos de finos cristales de carbonatos (equigranular), masivamente distribuido.

Otra mostrando reemplazamiento de fósiles por material carbonatado

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Presencia de fósiles marinos, reemplazados por carbonatos dispuestos de forma equigranular.

Matriz fina de posición intergranular (micrita?)



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

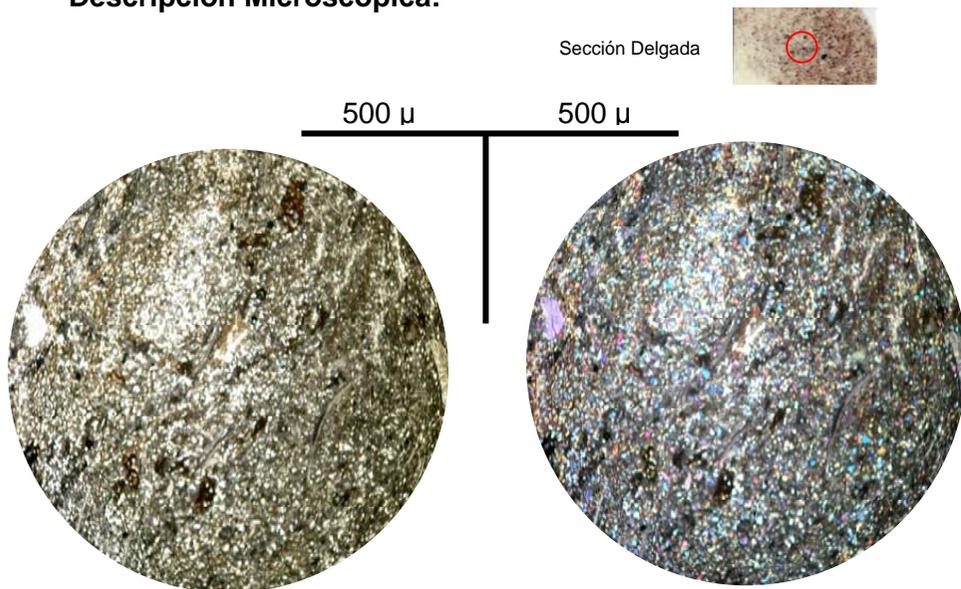
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 1 – A**

**Descripción Microscópica:**



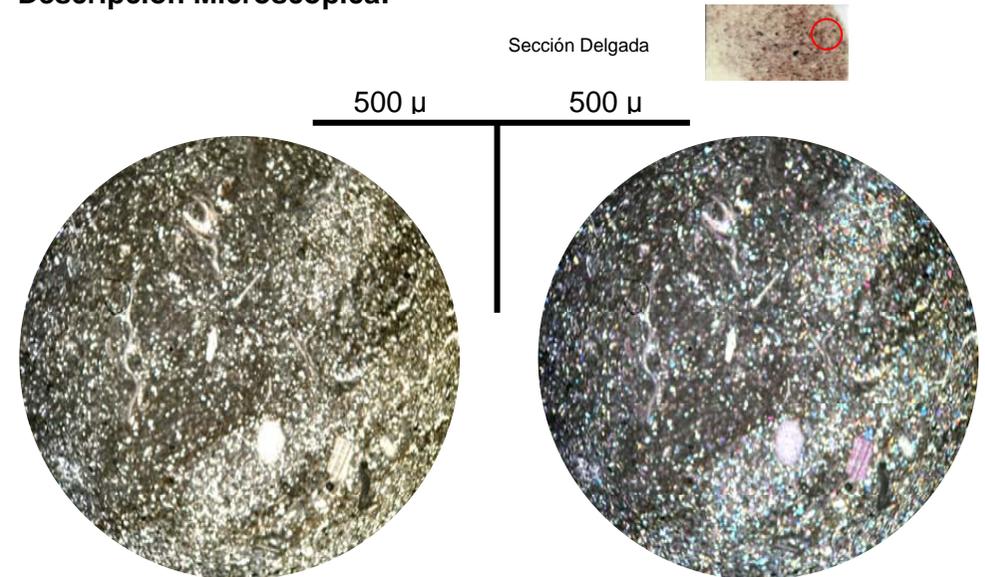
**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Textura matriz soportada de grano fino (micrita), mostrando cristales de carbonatos con alineamiento.

Distribucion de fosiles siguiendo la disposición de los carbonatos

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Sobre la misma configuración anterior; se observa presencia de fragmentos de fósiles (braquiópodos) y de finos rellenos de carbonatos en fracturas



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD2**

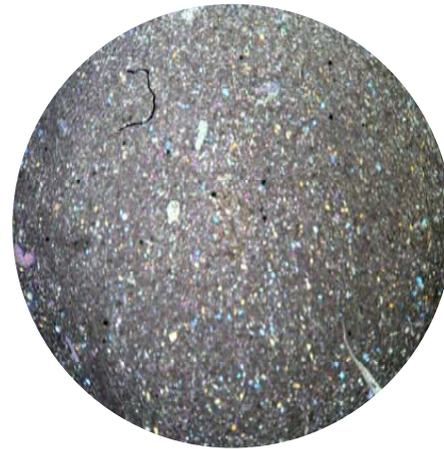
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Amplia distribución de matriz em forma homogénea (micrita).

Los cristales de carbonatos equigranulares, están distribuídos aleatoriamente

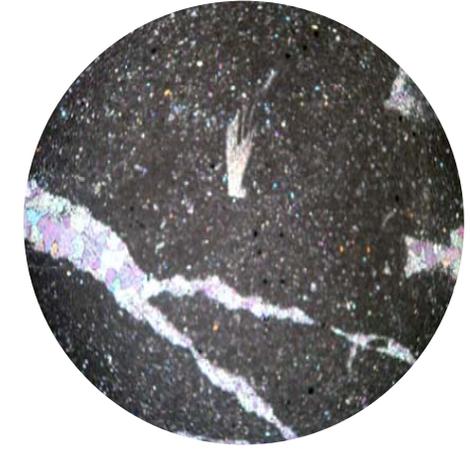
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Detalle de fractura bifurcada rellenas por calcita equigranular y subhedral.

Molde de fósil, reemplazado por calcita



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

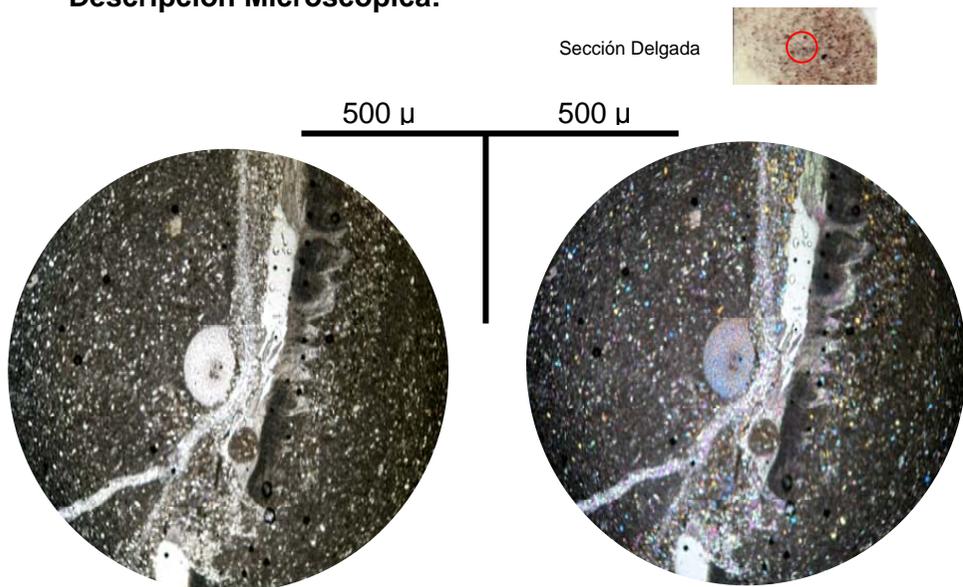
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD2**

**Descripción Microscópica:**



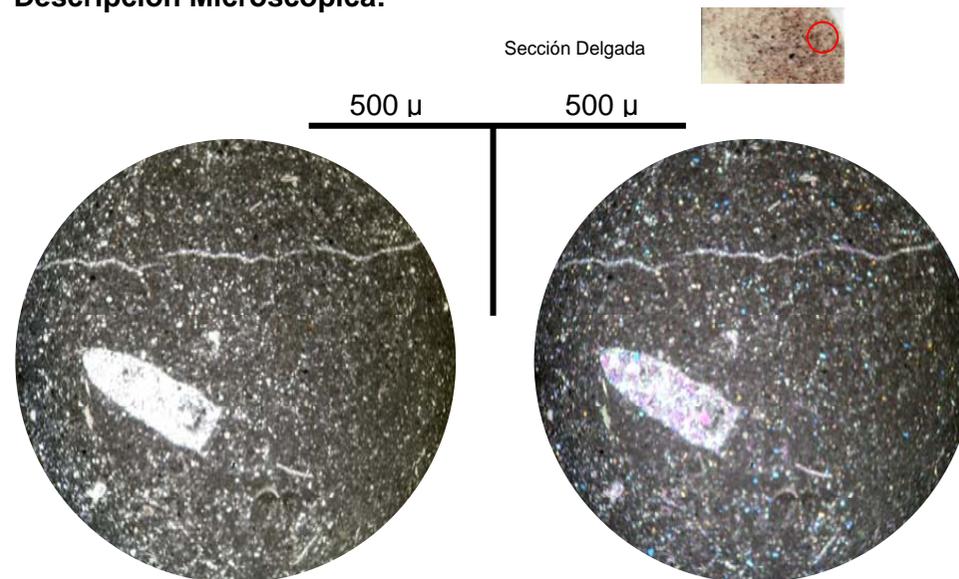
**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Fractura y su ramificación rellena por calcita, equigranular y subhedral.

En la parte central molde de equinodermos, reemplazados por calcita

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Fina fractura rellena con calcita, recorre toda la vista.

Detalle de molde de fósil (braquiópodo?), reemplazado por material carbonatado



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 11 – B**

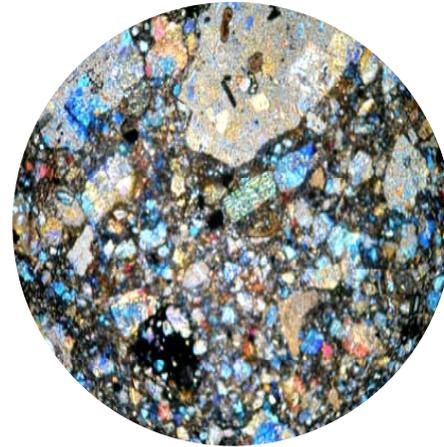
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Textura merocrystalina, de grano medio con fragmentos líticos mostrando cristales de plagioclasas.

La matriz de grano fino con contenidos de vidrio volcánico

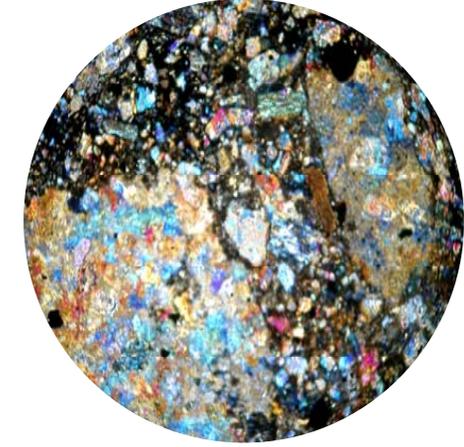
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Vista mostrando, en detalle fragmentos líticos

Obsérvese la matriz, mostrando vidrio volcánico en posición intergranular.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

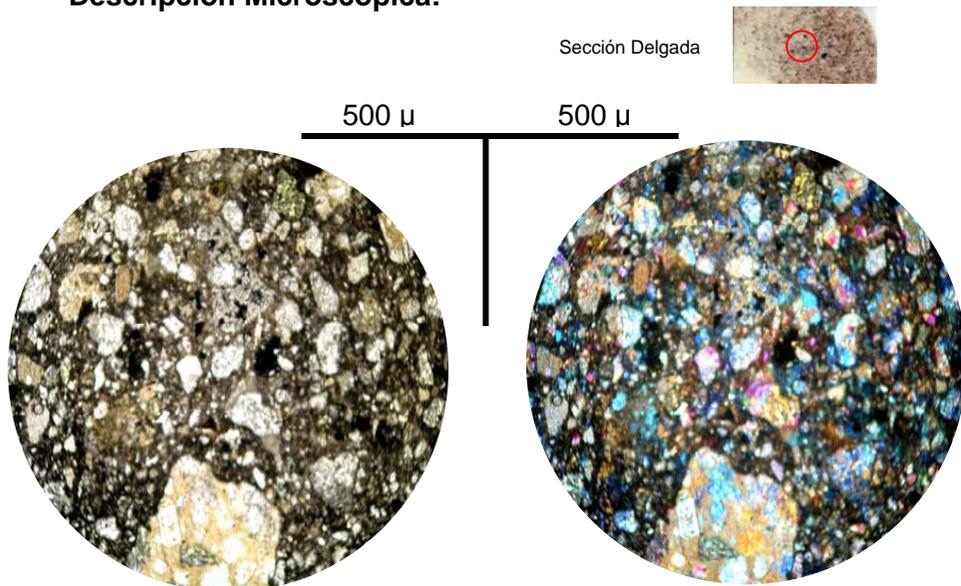
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 11 – B**

**Descripción Microscópica:**



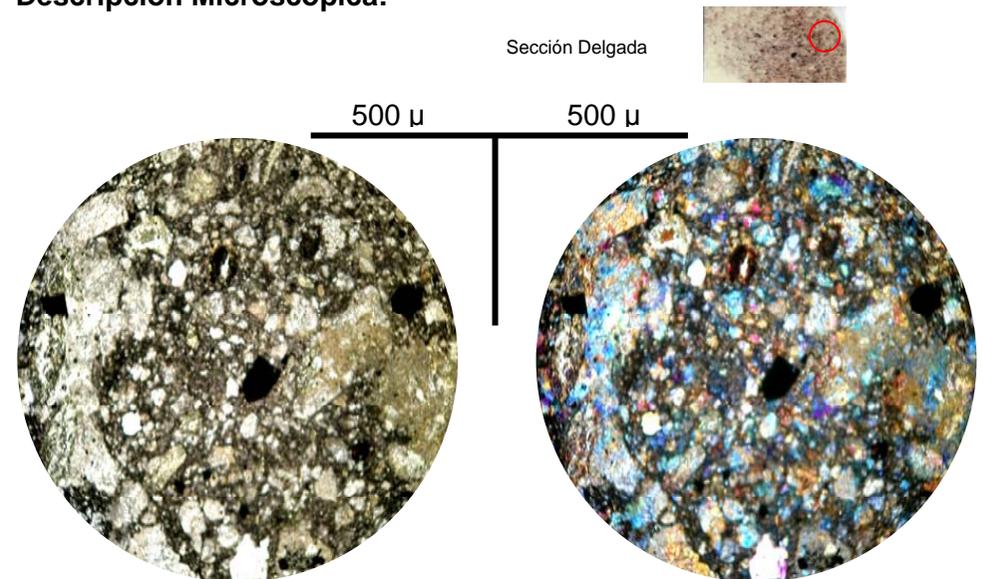
**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Detalle mostrando diversa granulometria de los componentes.

En la matriz se observan cristales de feldspatos postásicos de grano fino

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Detalle de la composición de la matriz, fragmentos de cristales de feldspatos y plagioclasas de grano fino con contenidos de vidrio volcánico.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 5**

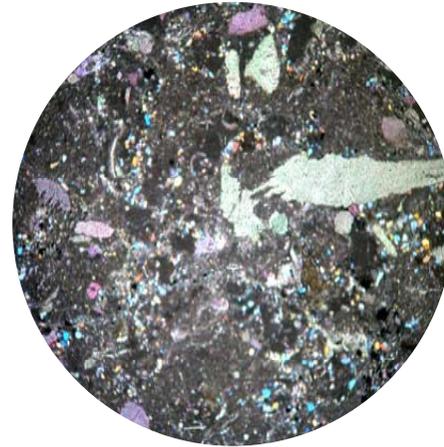
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Matriz fina de amplia distribución (micrita), con cristales de carbonatos aleatoriamente distribuidos,

Fragmentos de fósiles

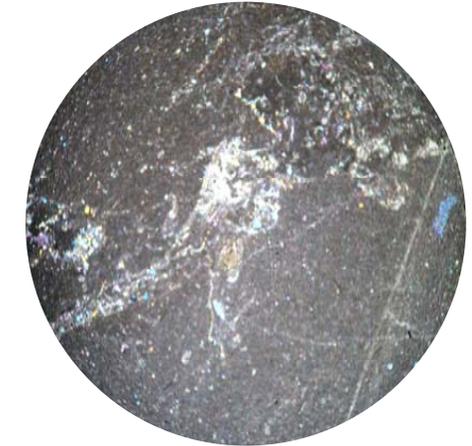
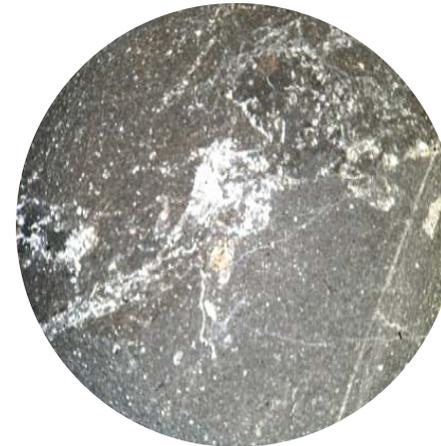
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Finas fracturas rellenas con material carbonatado, distribuidas como ramificaciones de la principal.

Aparentemente restos de moldes de fósil reemplazados por material carbonatado



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 5**

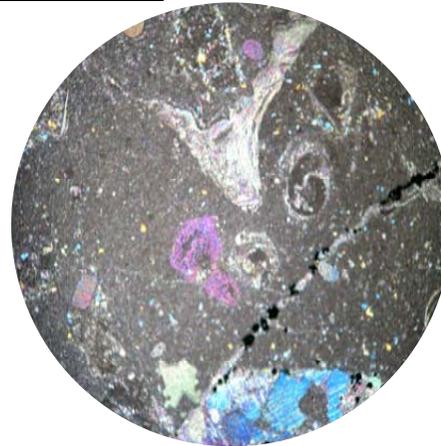
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Amplia presencia de moldes de fósiles (equinodermos, braquiópodos y gasterópodos) reemplazados por material carbonatado

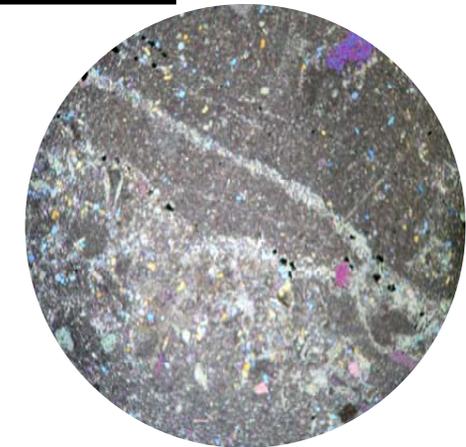
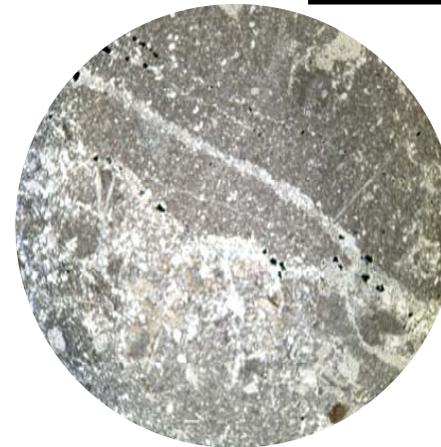
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

En la vista se puede apreciar, una fractura rellena de material carbonatado.

También vemos, acumulaciones amorfas de material carbonatado



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 10**

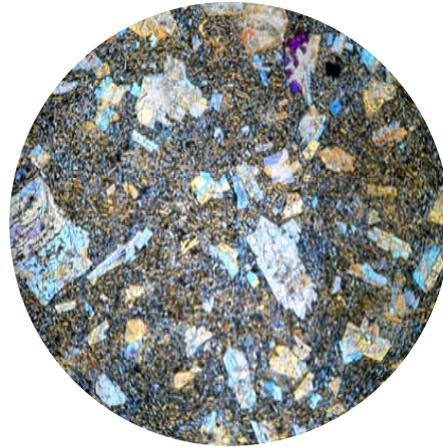
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Textura merocrystalina, fanerítica de fenos y granular fina de matriz-

Fenocristales de feldespatos potasicos y plagioclasas se muestran distribuídas aleatoriamente

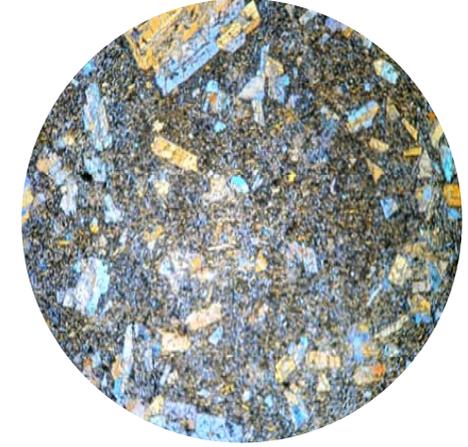
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Similar a la vista anterior, identificando cristales tabulares de feldespatos en la matriz.

Fenos de feldespatos potásicos (ortosa) en los bordes.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 10**

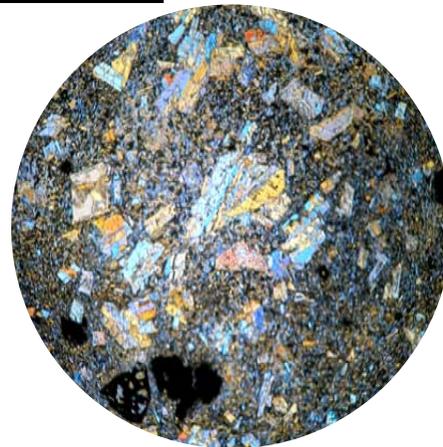
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Detalle de la matriz felsosídica.

Se observan cristales de plagioclasas de menor tamaño

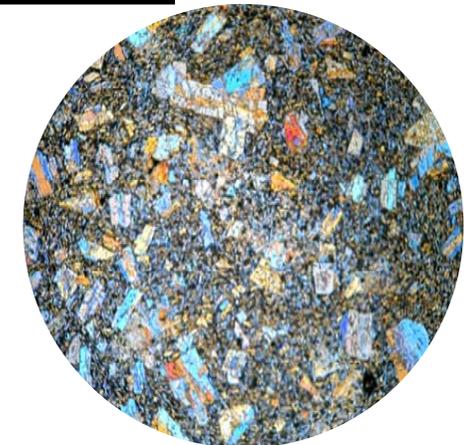
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Distribución aleatoria de los fenos cristales.

Puede observarse con detalle la morfología de los cristales en la matriz



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 1**

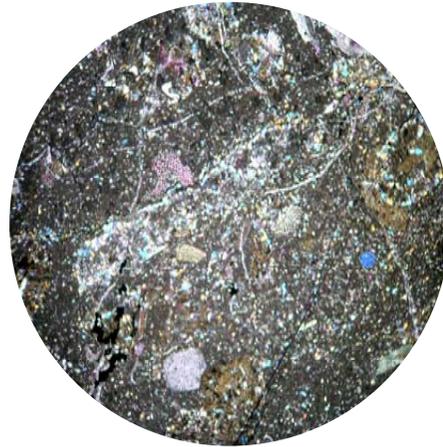
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Roca de textura matriz soportada con presencia de fosiles de morfología esférica (euhydroids).

Matriz micritica y rellenas de carbonastos finas fracturas

**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

Marcada presencia de calcita en presencia intergranular de matriz micritica y fosiles reemplazados por carbonatos



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

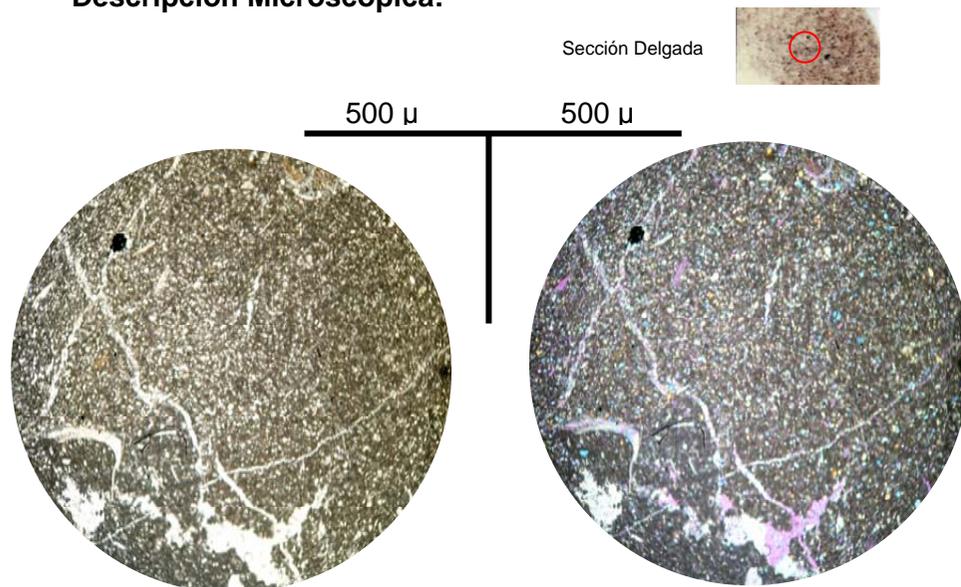
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 1**

**Descripción Microscópica:**

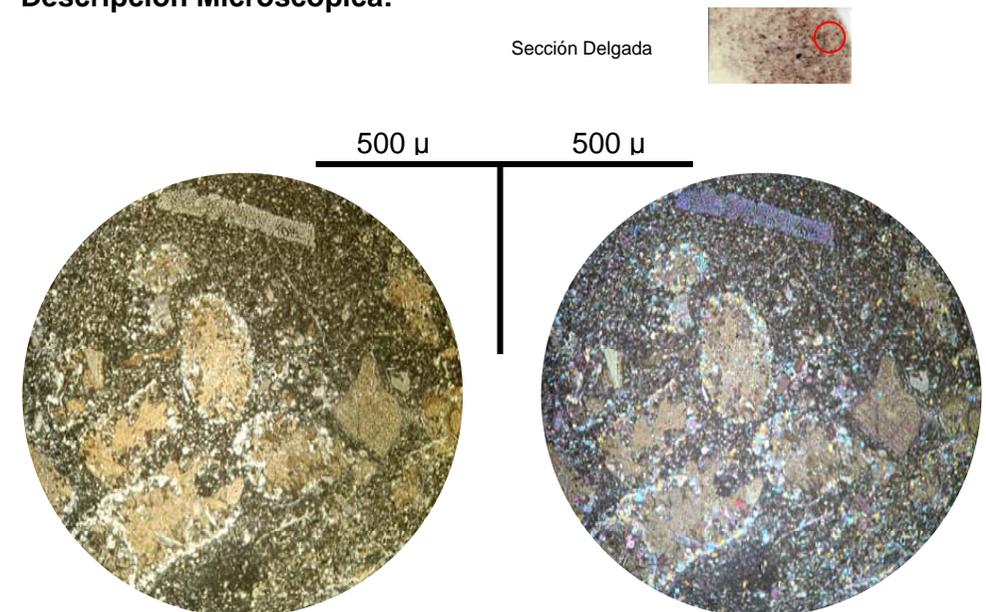


**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Se muestra la matriz micrítica y las finas fracturas rellenas por material carbonatado

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Distribución de fósiles marinos principalmente braquiópodos y briosos?, en la parte superior

La matriz es micrítica y presenta finas fracturas rellenas por carbonatos.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 3**

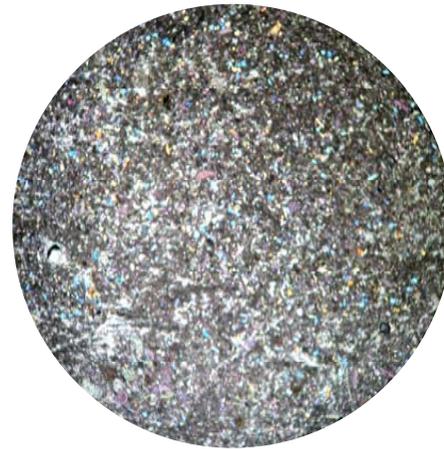
**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 01 //s**

**Foto: 02 Xs**

Distribución equigranular de cristales de carbonatos con finas fracturas rellenas de cristales de carbonatos

**Descripción Microscópica:**

Sección Delgada



500  $\mu$

500  $\mu$



**Foto: 03 //s**

**Foto: 04 Xs**

En la vista se muestra el detalle de un fracturamiento sinuoso relleno de material carbonatado.

Es observable la disposición fluidal de los cristales en parte de la vista



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

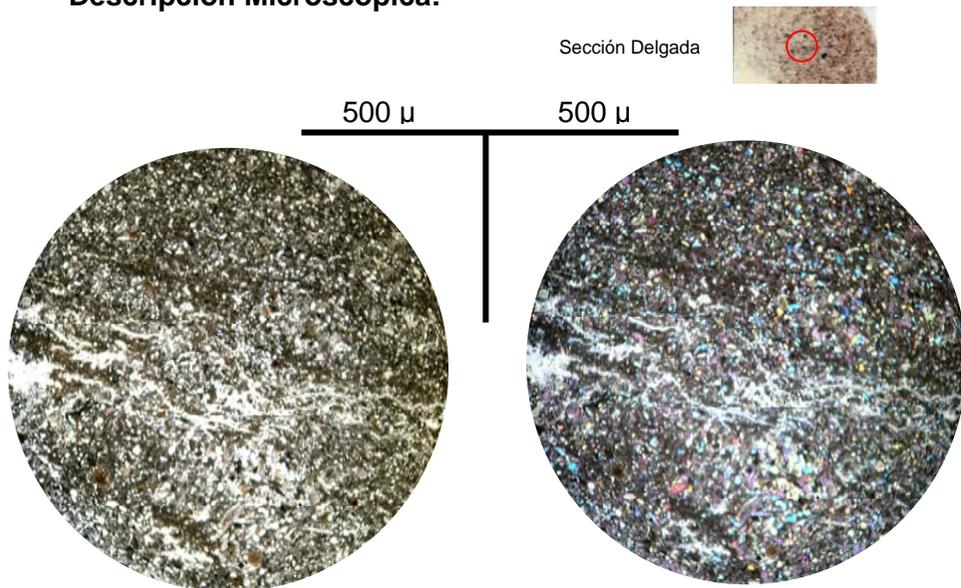
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Laboratorio de Mineralogía

**Código de Muestra: SD 3**

**Descripción Microscópica:**

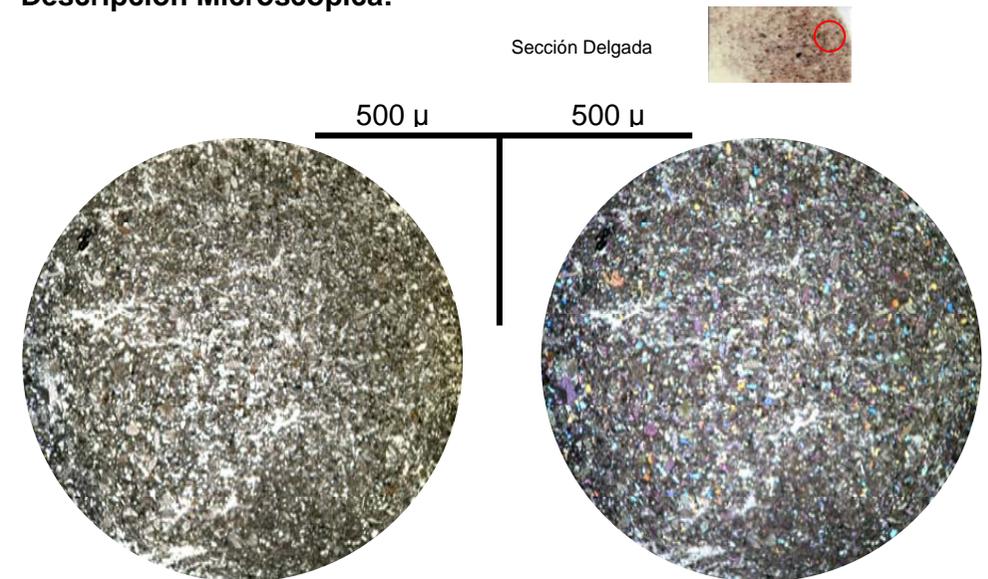


**Foto: 05 //s**

**Foto: 06 Xs**

Alineamiento de finas fracturas rellenas de material carbonatado, siguiendo la misma dirección de los cristales.

**Descripción Microscópica:**



**Foto: 07 //s**

**Foto: 08 Xs**

Como en la vista anterior.

Detalle en el centro de la vista, indicando un arreglo del tipo involuta de parte de los cristales de carbonatos

**ANEXO IX**  
**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE**



**ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE**

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938

Los resultados son los siguientes:

<i>Sondaje</i>	<i>Tramo de Muestra (m) Profundidad (m)</i>	<i>Diámetro (cm.)</i>	<i>Altura (cm.)</i>	<i>Carga (KN.)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (Kg./cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (MPa)</i>
<b>SD4</b>	28.03 a 28.55 30.0	6.29	12.72	200.40	660.19	64.70
<b>SD6</b>	10.45 a 11.00 25.0	6.28	12.06	191.10	627.44	61.49
<b>SD7</b>	53.50 a 53.90 60.0	6.28	12.57	240.50	793.81	77.79

Observación: Estandarizado según Protodyakonov ( $l/D = 2$ )

Nota:

- La empresa solicitante es responsable de la toma de muestra en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.

  
Ing. Julio Uza Teruya  
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas  
Universidad Nacional de Ingeniería





**ANTES**



**DESPUES**



**ANTES**



**DESPUES**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

**ANTES**



**DESPUES**





**ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE**

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Diámetro (cm.)</i>	<i>Altura (cm.)</i>	<i>Carga (KN.)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (Kg./cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (MPa)</i>
SD1-A	4.72	9.42	120.40	703.24	68.92
SD1-B	4.72	9.50	209.90	1227.29	120.27
SD2	4.67	9.40	123.60	738.26	72.35
SD3	4.67	9.36	137.20	819.05	80.27
SD5	6.27	12.53	284.50	941.85	92.30
SD10	6.24	12.58	606.70	2030.08	198.95
SD11-A	6.18	12.52	127.90	436.58	42.78
SD11-B	6.24	15.48	331.70	1136.32	111.36

Observación: Estandarizado según Protodyakonov ( $L/D = 2$ )

Nota:

- La empresa solicitante es responsable de la toma de muestra en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.

Ing. Julio Uza Teruya  
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas  
Universidad Nacional de Ingeniería





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

**ANTES**



**DESPUES**



**ANTES**



**DESPUES**





ANTES



DESPUES



ANTES



DESPUES





ANTES



DESPUES



ANTES



DESPUES





**ANTES**



**DESPUES**



**ANTES**



**DESPUES**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

**ANTES**



**DESPUES**



**ANTES**



**DESPUES**



Av. Túpac Amará 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
Telefax: (511) 382 4557, e-mail: lmrfigmm@uni.edu.pe



**ANEXO X**

**ENSAYO DE LABORATORIO DE**

**SUELOS**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

### Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

#### INFORME N° S10 - 092

SOLICITANTE : LGR DRILING S.A.C  
 PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICO LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : RIO CHANCAY - DIST. SEXI - PROV. SANTA CRUZ - DPTO CAJAMARCA  
 FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

#### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : CAL - 1  
 Prof.(m.) : 3.00  
 Muestra : \*\*\*

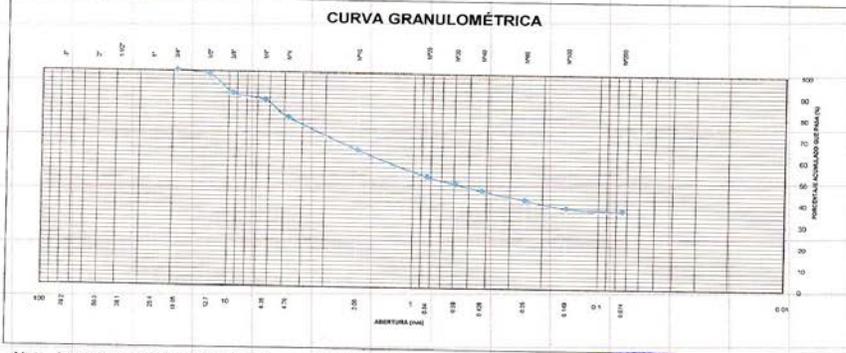
#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(% ) Acumulado	
		Parcial	Reteni Pasa
3"	76.200	-	-
2"	50.300	-	-
1 1/2"	38.100	-	-
1"	25.400	-	-
3/4"	19.050	-	100.0
1/2"	12.700	2.0	98.0
3/8"	9.525	8.5	89.5
1/4"	6.350	3.1	86.5
N°4	4.760	8.0	78.5
N°10	2.000	14.8	63.6
N°20	0.840	12.2	51.4
N°30	0.590	3.2	48.2
N°40	0.426	3.1	45.1
N°60	0.250	4.1	41.1
N°100	0.149	3.8	37.3
N°200	0.074	1.2	36.1
- N°200		36.1	

% grava	: 21.5
% arena	: 42.4
% finos	: 36.1

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Limite Líquido (%)	: 34.1
Limite plástico (%)	: 27
Indice Plástico (%)	: 7.1

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM  
 Clasificación AASHTO-M-145 : A 4-(0)  
 Contenido de humedad ASTM D-2216 : 2.30%  
 Peso específico(Fino) ASTM D-854 : 2.623



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante  
 Ejecución : Tec. Walter Díaz R



VºBº ALFREDO GUTIERREZ LAZARES  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° :

S10 - 092

## II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : \*\*\*  
Calicata : CAL - 1  
Prof.(m) : 3.00

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.600	1.600	1.600
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.543	1.543	1.543
Cont. de humedad inicial (%)	3.7	3.7	3.7
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	1.876	1.817	1.716
Altura final de muestra (cm)	1.794	1.779	1.716
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.307	2.320	2.394
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.858	1.874	1.943
Cont. de humedad final (%)	24.2	23.8	23.2
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.311	0.599	0.884

Angulo de friccion interna : 29.8 °  
Cohesion (Kg/cm<sup>2</sup>) : 0.02

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Jorge Chávez U.



VºBº

ING. FREDO GUTIERREZ LAZARES  
ING. JEFE DEL LABORATORIO  
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## INFORME N° S10 - 092

SOLICITADO : LGR DRILING S.A.C  
 PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICO LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : RIO CHANCAY - DIST. SEXI - PROV. SANTA CRUZ - DPTO CAJAMARCA  
 FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

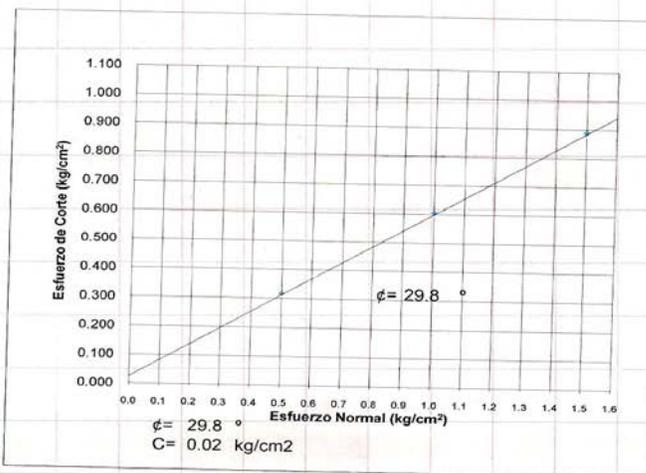
### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Muestra : \*\*\*  
 Calicata : CAL - 1  
 Prof.(m) : 3.00

#### DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



#### ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ALVARO GUTIERREZ LAZARUS  
 INGENIERO  
 FIRMATURA





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## INFORME N° S10 - 092

SOLICITANTE : LGR DRILING S.A.C  
 PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICO LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : RIO CHANCAY - DIST. SEXI - PROV. SANTA CRUZ - DPTO CAJAMARCA  
 FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : CAL - 2  
 Prof.(m.) : 5.00  
 Muestra : \*\*\*

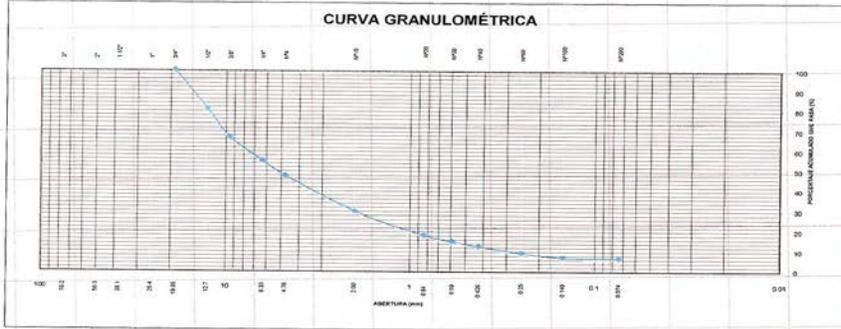
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial	(%) Reteni	(%) Acumulado Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	19.4	19.4	80.6
3/8"	9.525	14.2	33.6	66.4
1/4"	6.350	11.5	45.1	54.9
N°4	4.760	7.5	52.6	47.4
N°10	2.000	17.7	70.3	29.7
N°20	0.840	11.8	82.1	17.9
N°30	0.590	3.1	85.2	14.8
N°40	0.426	2.5	87.7	12.3
N°60	0.250	3.2	90.9	9.1
N°100	0.149	2.3	93.3	6.7
N°200	0.074	0.5	93.8	6.2
- N°200		6.2		

% grava	: 52.6
% arena	: 41.2
% finos	: 6.2

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	: 19.0
Límite plástico (%)	: NP
Índice Plástico (%)	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : GW-GM  
 Contenido de humedad ASTM D-2216 : 2.30%  
 Peso específico ASTM D-854 : 2.621  
 Clasificación AASHTO M-145 : A-1-a(0)



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante  
 Ejecución : Tec. Walter Diaz .R



ING. JEFRE GUTIERREZ LAZARES  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° : S10 - 092

## II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : \*\*\*  
Calicata : CAL - 2  
Prof.(m) : 5.00

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.650	1.650	1.650
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.603	1.603	1.603
Cont. de humedad inicial (%)	2.9	2.9	2.9
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	2.046	1.987	1.957
Altura final de muestra (cm)	1.987	1.952	1.931
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.105	2.140	2.156
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.742	1.774	1.793
Cont. de humedad final (%)	20.8	20.6	20.3
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.328	0.634	0.971

Angulo de friccion interna : **32.7 °**  
Cohesion (Kg/cm<sup>2</sup>) : **0.00**

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Jorge Chávez U.



V°B°

MECANICA DE SUELOS  
JEFES DEL LABORATORIO  
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

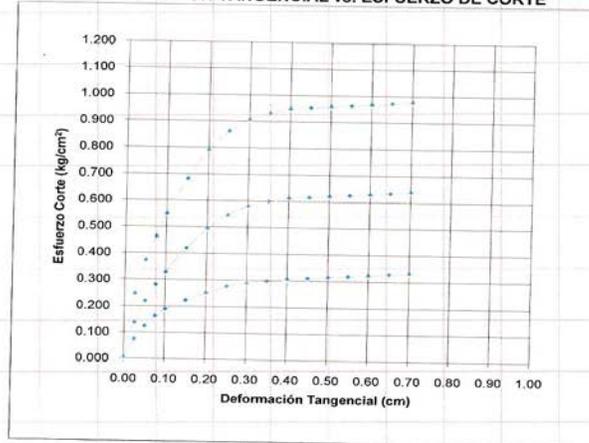
## INFORME N° S10 - 092

SOLICITADO : LGR DRILING S.A.C  
PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICO LAS PIZARRAS  
UBICACIÓN : RIO CHANCAY - DIST. SEXI - PROV. SANTA CRUZ - DPTO CAJAMARCA  
FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

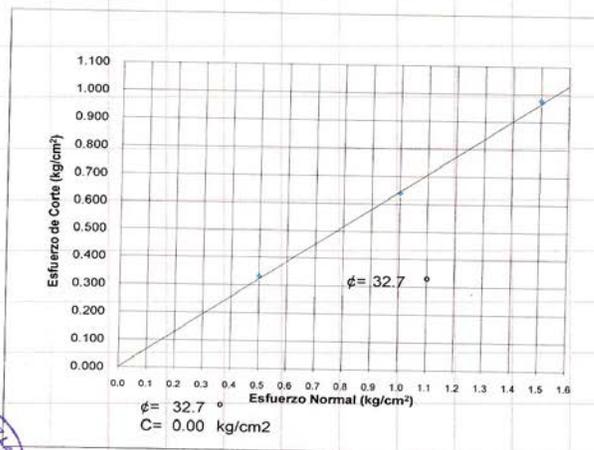
### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : \*\*\*  
Calicata : CAL - 2  
Prof.(m) : 5.00

#### DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



#### ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° : S10 - 092

## II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Muestra : \*\*\*  
 Calicata : CAL - 3  
 Prof.(m) : 1.70

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm3)	1.724	1.724	1.724
Densidad seca inicial (gr/cm3)	1.599	1.599	1.599
Cont. de humedad inicial (%)	7.8	7.8	7.8
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	2.033	1.980	1.934
Altura final de muestra (cm)	1.954	1.901	1.858
Densidad húmeda final (gr/cm3)	2.155	2.211	2.257
Densidad seca final (gr/cm3)	1.767	1.816	1.859
Cont. de humedad final (%)	22.0	21.7	21.4
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.280	0.538	0.796

Angulo de friccion interna : 27.3 °  
 Cohesion (Kg/cm<sup>2</sup>) : 0.02

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Jorge Chávez U.



VºBº

EDUARDO GUTIERREZ LAZARES  
 JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## INFORME N° S10 - 181

SOLICITANTE : EMPRESA ELECTRONICA RIO DOBLE  
 PROYECTO : O.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - CAJAMARCA  
 FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : CAL - 4  
 Prof.(m.) : \*\*\*  
 Muestra : CASA MAQUINA "B"

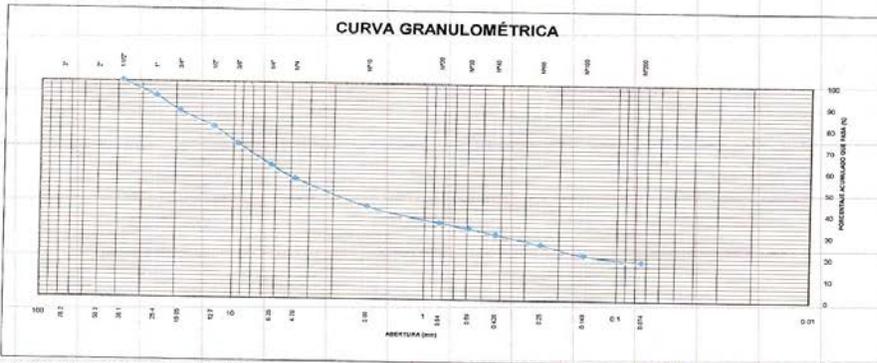
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(% )	
		Parcial	(%) Acumulado Reteni Pasa
3"	76.200	-	-
2"	50.300	-	-
1 1/2"	38.100	-	100.0
1"	25.400	7.1	92.9
3/4"	19.050	6.9	86.0
1/2"	12.700	7.1	78.9
3/8"	9.525	7.8	71.1
1/4"	6.350	9.9	61.2
N°4	4.760	6.2	55.0
N°10	2.000	12.6	42.3
N°20	0.840	7.3	35.1
N°30	0.590	2.5	32.5
N°40	0.426	2.7	29.8
N°60	0.250	4.4	25.4
N°100	0.149	4.8	20.5
N°200	0.074	2.9	17.7
- N°200		17.7	

% grava	: 45.0
% arena	: 37.3
% finos	: 17.7

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	: 25.9
Límite plástico (%)	: NP
Índice Plástico (%)	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487	: GM
Contenido de humedad ASTM D-2216	: 7.10%
Peso específico ASTM D-854	: 2.621
Clasificación AASHTO M-145	: A-2-4(0)



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante  
 Ejecución : Tec. Walter Diaz .R



VºBº **FREDO GUTIERREZ LAZARES**  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

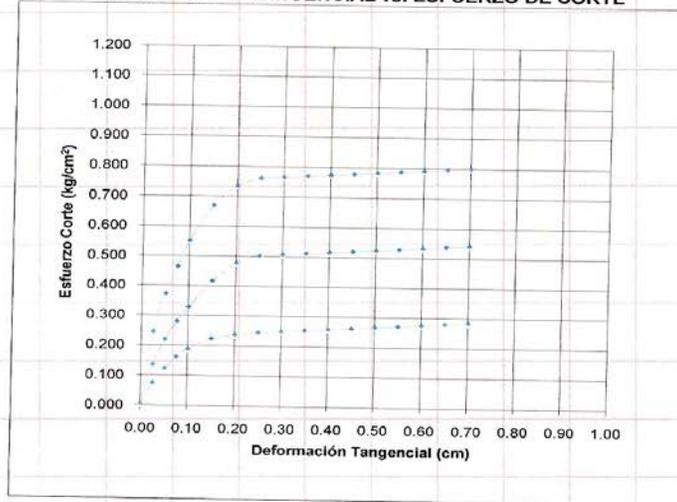
## INFORME N° S10 - 092

SOLICITADO : LGR DRILING S.A.C  
PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICO LAS PIZARRAS  
UBICACIÓN : RIO CHANCAY - DIST. SEXI - PROV. SANTA CRUZ - DPTO CAJAMARCA  
FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

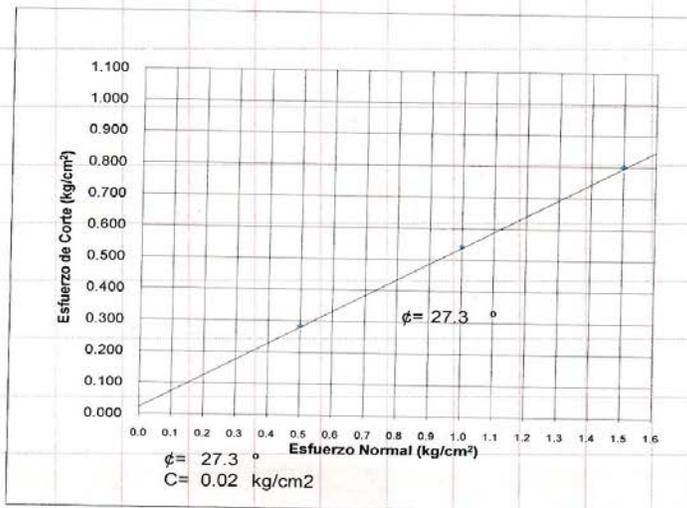
### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : \*\*\*  
Calicata : CAL - 3  
Prof.(m) : 1.70

#### DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



#### ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° :

S10 - 181

## II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : CASA MAQUINA "B"  
Calicata : CAL - 4  
Prof.(m) : \*\*\*

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.629	1.629	1.629
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.521	1.521	1.521
Cont. de humedad inicial (%)	7.1	7.1	7.1
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	1.850	1.756	1.685
Altura final de muestra (cm)	1.738	1.677	1.639
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.338	2.417	2.467
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.890	1.959	2.005
Cont. de humedad final (%)	23.7	23.4	23.1
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.315	0.626	0.945

Angulo de friccion interna : **32.2 °**  
Cohesion (Kg/cm<sup>2</sup>) : **0.00**

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Jorge Chávez U.



VºBº

JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES  
ING. JEFE DEL LABORATORIO  
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

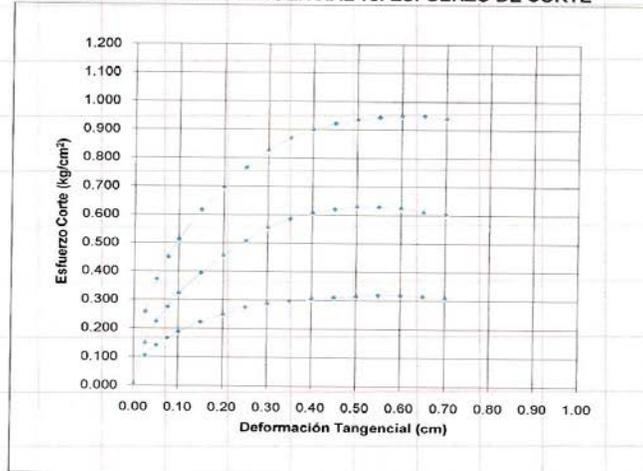
## INFORME N° S10 - 181

SOLICITADO : EMPRESA ELECTRONICA RIO DOBLE  
PROYECTO : O.H. LAS PIZARRAS  
UBICACIÓN : SANTA CRUZ - CAJAMARCA  
FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

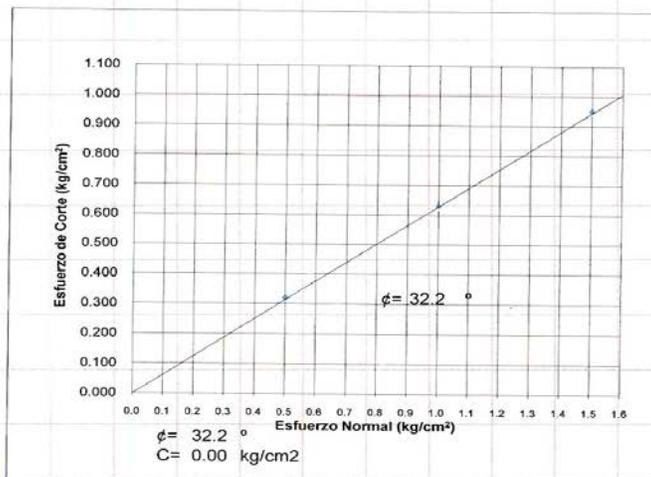
### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : CASA MAQUINA "B"  
Calicata : CAL - 4  
Prof.(m) : \*\*\*

#### DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



#### ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## INFORME N° S10 - 181

SOLICITANTE : EMPRESA ELECTRONICA RIO DOBLE  
 PROYECTO : O.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - CAJAMARCA  
 FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : CAL - 5  
 Prof.(m.) : \*\*\*  
 Muestra : MARGEN IZQUIERDO DEL RIO CAÑO

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(% )		Pasa
		Parcial	Reteni	
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	6.5	6.5	93.5
1/2"	12.700	6.9	13.4	86.6
3/8"	9.525	6.1	19.5	80.5
1/4"	6.350	6.9	26.4	73.6
N°4	4.760	6.3	32.6	67.4
N°10	2.000	16.4	49.0	51.0
N°20	0.840	11.1	60.2	39.8
N°30	0.590	3.5	63.7	36.3
N°40	0.426	3.4	67.1	32.9
N°60	0.250	4.5	71.6	28.4
N°100	0.149	3.4	75.0	25.0
N°200	0.074	2.9	77.8	22.2
- N°200		22.2		

% grava	: 32.6
% arena	: 45.2
% finos	: 22.2

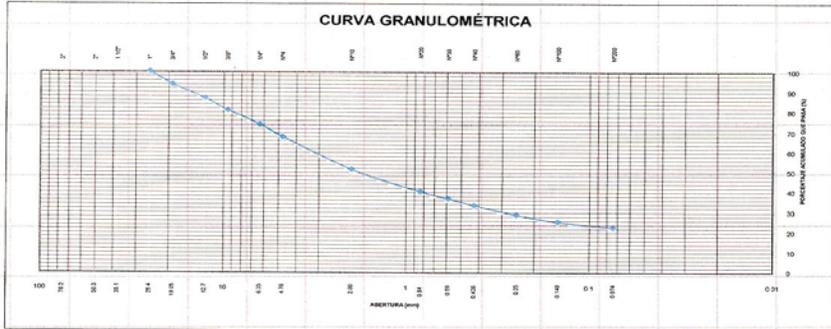
### LÍMITES DE CONSISTENCIA

#### ASTM D4318

Límite Líquido (%)	: 30.5
Límite plástico (%)	: NP
Índice Plástico (%)	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487	: SM
Contenido de humedad ASTM D-2216	: 4.80%
Peso específico ASTM D-854	: 2.681
Clasificación AASHTO M-145	: A-1-b(0)

### CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante  
 Ejecución: Tec. Jorge Chávez U.



V°B° ALFREDO GUTIERREZ LAZARES  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° : **S10 - 181**

## II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : MARGEN IZQUIERDO DEL RIO CAÑAO  
Calicata : CAL - 5  
Prof.(m) : \*\*\*

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.620	1.620	1.620
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.567	1.567	1.567
Cont. de humedad inicial (%)	3.4	3.4	3.4
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	1.766	1.677	1.619
Altura final de muestra (cm)	1.682	1.627	1.550
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.406	2.483	2.599
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.011	2.080	2.182
Cont. de humedad final (%)	19.6	19.3	19.1
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.328	0.648	0.976
Angulo de fricción interna :	<b>32.9 °</b>		
Cohesion (Kg/cm <sup>2</sup> ) :	<b>0.00</b>		

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Jorge Chávez U.



V°B°

ING. JEFEDO GUTIERREZ LAZARES  
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

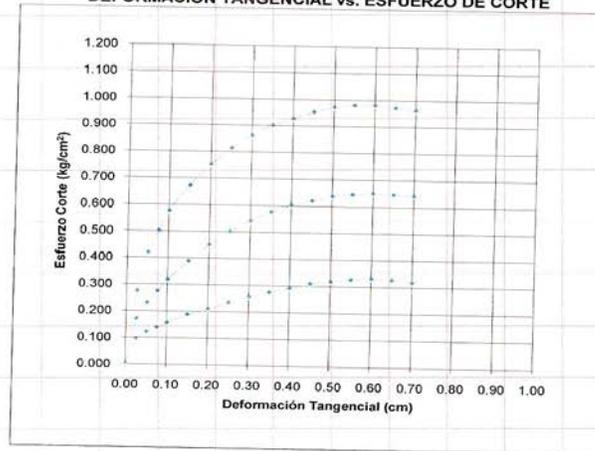
## INFORME N° S10 - 181

SOLICITADO : EMPRESA ELECTRONICA RIO DOBLE  
PROYECTO : O.H. LAS PIZARRAS  
UBICACIÓN : SANTA CRUZ - CAJAMARCA  
FECHA : 5 DE ABRIL DEL 2010

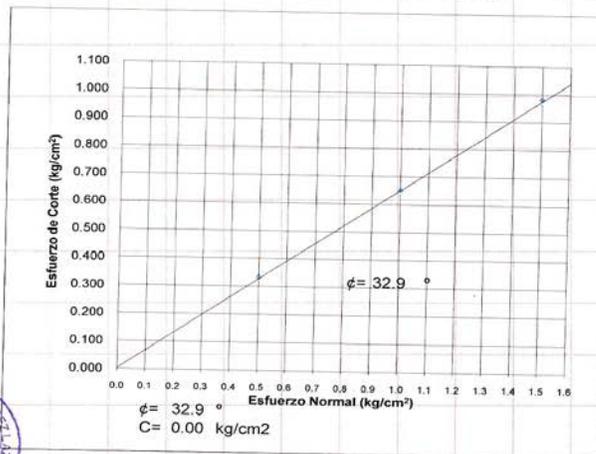
### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : MARGEN IZQUIERDO DEL RIO CAÑO  
Calicata : CAL - 5  
Prof.(m) : \*\*\*

#### DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



#### ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## INFORME N° S10 - 181

SOLICITANTE : EMPRESA ELECTRONICA RIO DOBLE  
 PROYECTO : O.H. LAS PIZARRAS  
 UBICACIÓN : SANTA CRUZ - CAJAMARCA  
 FECHA : 05 DE ABRIL DEL 2010

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : CAL - 6  
 Prof.(m.) : \*\*\*  
 Muestra : CASA MAQUINA "A"

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

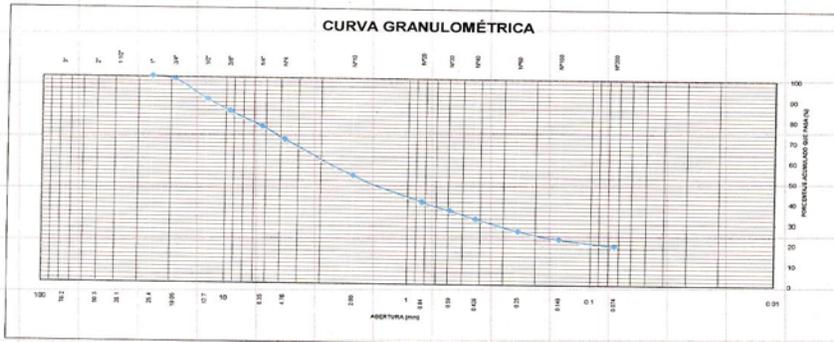
Tamiz	Abertura (mm)	(%)		Pasa
		Parcial	Reteni	
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	1.4	1.4	98.6
1/2"	12.700	9.5	10.9	89.1
3/8"	9.525	5.7	16.6	83.4
1/4"	6.350	7.4	24.0	76.0
N°4	4.760	6.2	30.2	69.8
N°10	2.000	17.7	47.9	52.1
N°20	0.840	12.4	60.3	39.7
N°30	0.590	4.1	64.4	35.6
N°40	0.426	4.1	68.5	31.5
N°60	0.250	5.7	74.2	25.8
N°100	0.149	4.0	78.1	21.9
N°200	0.074	3.3	81.4	18.6
- N°200		18.6		

% grava	: 30.2
% arena	: 51.3
% finos	: 18.6

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	: 27.8
Límite plástico (%)	: NP
Índice Plástico (%)	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM  
 Contenido de humedad ASTM D-2216 : 4.70%  
 Peso específico ASTM D-854 : 2.676  
 Clasificación AASHTO-M-145 : A-1-b(0)

### CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante  
 Ejecución : Tec. Jorge Chávez U.



VºBº FREDO GUTIERREZ LAZARES  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO  
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° :

S10 - 181

## II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : CASA MAQUINA "A"  
Calicata : CAL - 6  
Prof.(m) : \*\*\*

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.650	1.650	1.650
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.552	1.552	1.552
Cont. de humedad inicial (%)	6.3	6.3	6.3
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	1.860	1.799	1.619
Altura final de muestra (cm)	1.784	1.726	1.550
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.290	2.362	2.599
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.879	1.943	2.162
Cont. de humedad final (%)	21.9	21.6	20.2
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.315	0.626	0.936

Angulo de friccion interna : **31.9 °**  
Cohesion (Kg/cm<sup>2</sup>) : **0.00**

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Jorge Chávez U.



VºBº

JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES

ING. JEFE DEL LABORATORIO  
Lab. de Mecánica de Suelos UNI.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

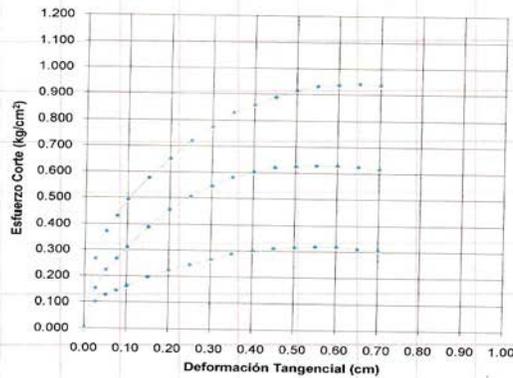
## INFORME N° S10 - 181

SOLICITADO : EMPRESA ELECTRONICA RIO DOBLE  
PROYECTO : O.H. LAS PIZARRAS  
UBICACIÓN : SANTA CRUZ - CAJAMARCA  
FECHA : 05 DE ABRIL DEL 2010

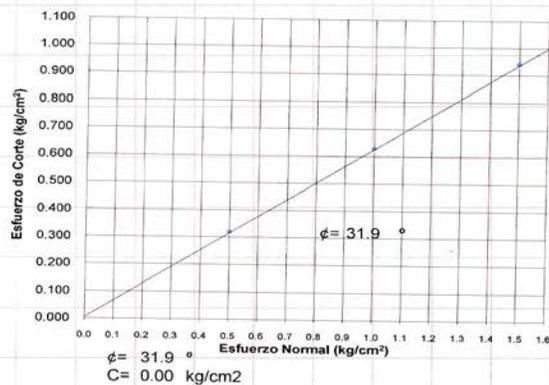
### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
Muestra : CASA MAQUINA "A"  
Calicata : CAL - 6  
Prof.(m) : \*\*\*

#### DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



#### ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE



**ANEXO XI**  
**CALCULO DE CARGA PORTANTE**  
**(SUELO)**

## CALCULO DE CARGA PORTANTE

### FORMULAS

$$q_c = 1.3 C N_c + \gamma D N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

$$N_c = (N_q + 1) C \tan \phi$$

$$N_q = (\text{EXP}(\pi \tan \phi) \tan^2(45 + \phi/2))$$

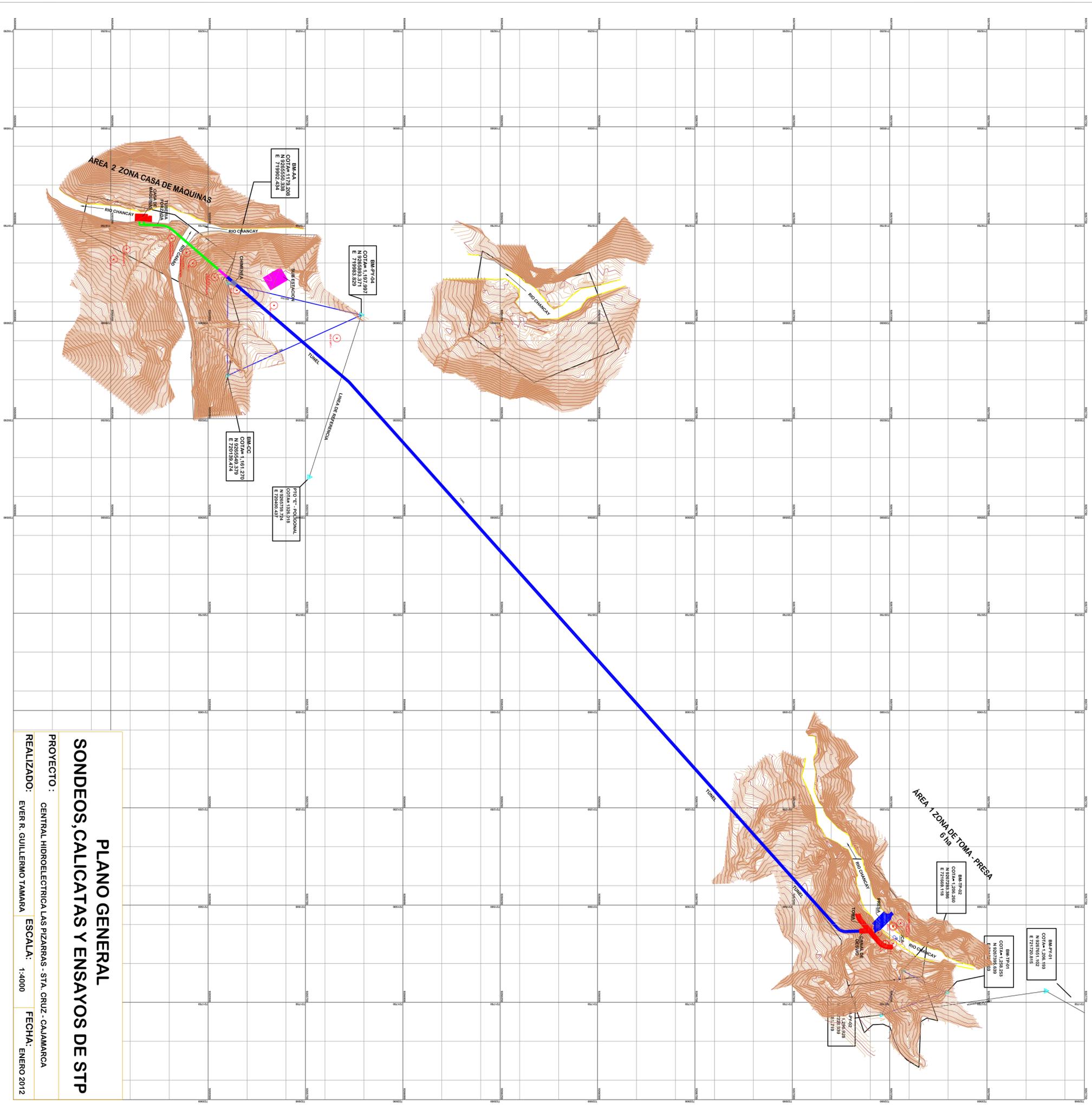
$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

DONDE:		DATOS DE LABORATORIO	COEFICIENTES
$q_c$	CAPACIDAD DE CARGA (Kg/cm <sup>2</sup> )	COHESIÓN (C)	$N_c$
C	COHESIÓN DEL SUELO (Kg/cm <sup>2</sup> )	PESO ESPECIFICO ( $\gamma$ )	$N_q$
$\gamma$	PESO ESPECIFICO DEL SUELO (Kgr/m <sup>3</sup> )	ÁNGULO DE FICCIÓN INTERNA( $\phi$ )	$N_\gamma$
B	ANCHO DE LA CALICATA (m)	<b>FACTOR DE SEGURIDAD (<math>F_s</math>) = 3</b>	
D	PROFUNDIDAD DE LA CALICATA (m)	<b>FACTOR DE HORIZONTALIDAD (<math>F_h</math>) = 1.15</b>	

### RESULTADO DE CALCULOS

CALICATA	C	$\phi$	$\gamma$	B	D	$N_q$	$N_c$	$N_\gamma$	$q_c$ (TM/m <sup>3</sup> )	$q_c / F_s$	$q_c / F_h$	$q_c$ (Kgr/cm <sup>2</sup> )
<b>CAL1</b>	0.02	29.8	2.623	1	3	17.99	33.16	21.75	165.2422	55.08073	47.90	4.79
<b>CAL2</b>	0.00	32.7	2.621	0.6	4.75	25.18	40.77	33.61	334.5726	111.5242	96.98	9.70
<b>CAL3</b>	0.02	27.3	2.61	1.4	3	13.64	28.36	15.11	129.5899	43.19664	37.56	3.76
<b>CAL4</b>	0.00	32.2	2.621	1.5	2.3	23.73	39.27	31.15	192.0244	64.00815	55.66	5.57
<b>CAL5</b>	0.00	32.9	2.681	0.8	3.3	25.78	41.40	34.65	257.8373	85.94577	74.74	7.47
<b>CAL6</b>	0.00	31.9	2.676	0.9	4.2	22.91	38.41	29.76	286.1277	95.37591	82.94	8.29

**ANEXO XII**  
**PLANO GENERAL**



**PLANO GENERAL**  
**SONDEOS, CALICATAS Y ENSAYOS DE STP**

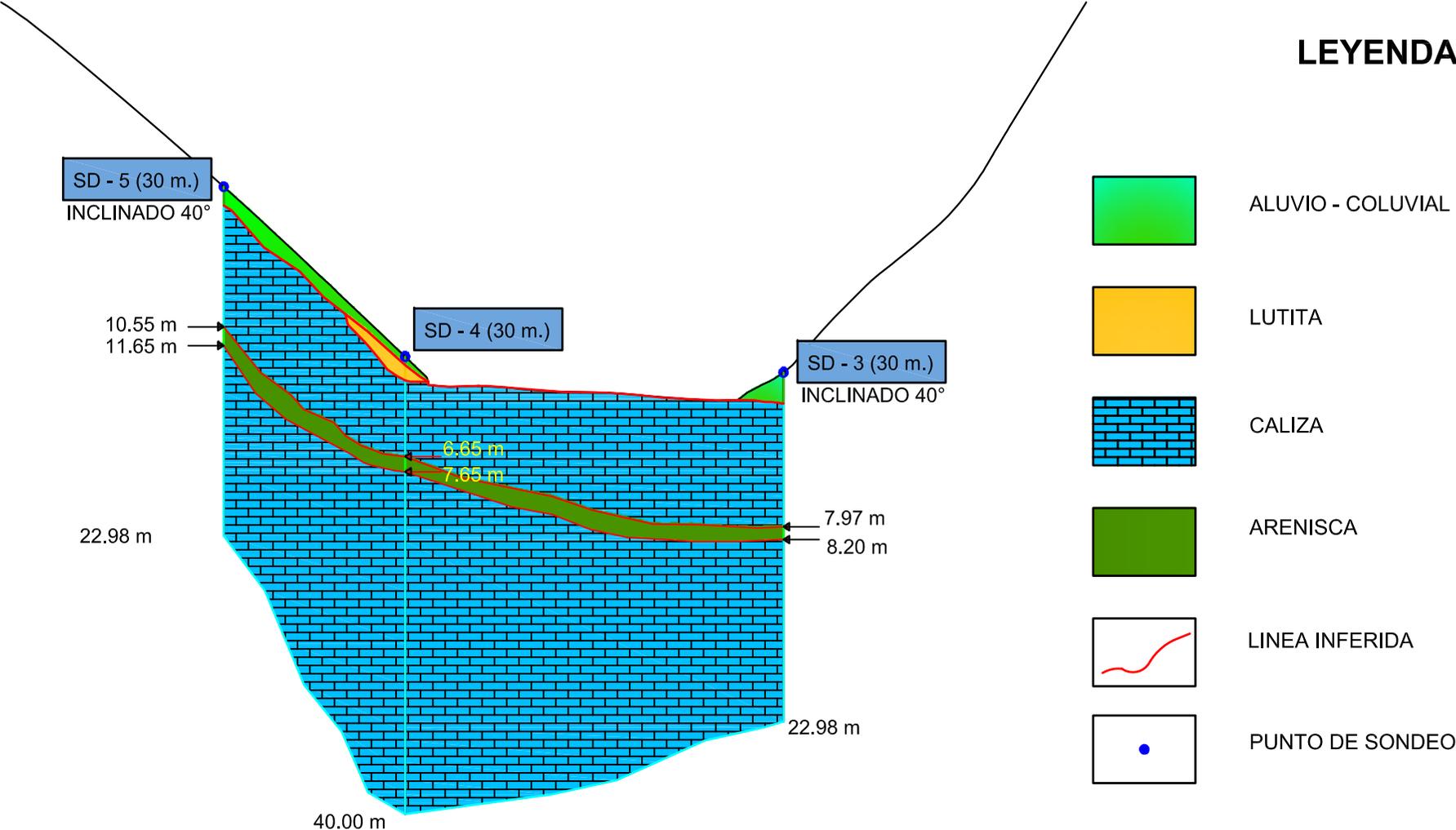
PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICA LAS PIZARRAS - STA. CRUZ - CAJAMARCA  
 REALIZADO : EVER R. GUILLERMO TAMARA  
 ESCALA : 1:4000  
 FECHA : ENERO 2012

# **ANEXO XIII**

## **SECCIONES**

# PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS PIZARRAS

## CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA ZONA DE PRESA



### SONDEOS EN SITIO DE PRESA

