UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Facultad De Estudios A Distancia – FAEDIS

Programa De Ingeniería Civil

"ESTUDIO DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LA CORTINA PROFUNDA EN EL MACIZO ROCOSO MEDIANTE INYECCIONES DE LECHADA HIDRÁULICA EN LA FUNDACIÓN DEL NÚCLEO DE LA PRESA EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO"

Trabajo de Grado

Preparada por

Luis Mauricio Candiales Garzón

Deiber Andrés Gänscka Acevedo

Bogotá D.C., Colombia

2014

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Facultad De Estudios A Distancia – FAEDIS

Programa De Ingeniería Civil

"ESTUDIO DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LA CORTINA PROFUNDA EN EL MACIZO ROCOSO MEDIANTE INYECCIONES DE LECHADA HIDRÁULICA EN LA FUNDACIÓN DEL NÚCLEO DE LA PRESA EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO"

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Civil

Preparada por

Luis Mauricio Candiales Garzón

Deiber Andrés Gänscka Acevedo

Presentada a:

Humberto Valbuena Leguizamo

Ingeniero Civil

Bogotá D.C., Colombia

2014

Nota aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____
Firma del presidente del jurado

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

Bogotá D.C., 20 de Enero de 2015

A nuestros amados padres, esposas e hijos, y en especial a Dios Todo Poderoso por darnos la inspiración para este trabajo.

AGRADECIMIENTO

A José Guillermo Vidal Fernández, Ingeniero Civil, Vicepresidente Técnico Constructora Conconcreto S.A. y Director Operativo Consorcio CCC Ituango, constructor del Proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Freddy Rojas. Ingeniero Civil Egresado de la Universidad Militar Nueva Granada, Jefe del Departamento de Inyecciones Profundas Consorcio CCC Ituango, constructor del Proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Humberto Valbuena Leguizamo, Ingeniero Civil y director de este proyecto.

Carol Arévalo Daza, Magister en Ingeniería Civil - Estructuras y Sísmica, Directora del Programa de Ingeniería Civil UMNG y a todos los Docentes de este Programa.

A todos mis compañeros de labores y de estudio, porque todos ellos han sido partícipes de una manera u otra de este gran logro.

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS 9

INDICE DE GRAFICAS 11

INDICE DE ILUSTRACIONES 12

INDICE DE ANEXOS 13

RESUMEN 14

INTRODUCCION 17

DEFINICION DEL PROBLEMA 19

OBJETIVO GENERAL 21

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21

JUSTIFICACION 22

1. MARCO TEORICO 24

1.1. Macizos Rocosos, Métodos Para Clasificación 24

1.1.1. Características principales que se consideran en un macizo rocoso 24

1.2. Marco Geológico del Proyecto 25

1.3. Geomorfología del Proyecto 28

1.4. Características Estructurales 28

1.5. Sistemas Estructurales Predominantes 29

1.5.1. De Discontinuidades. 29

1.5.2. Buzamientos Subverticales en Dirección Norte – Sur; 29

1.5.3. Buzamientos dirección Oriente – Occidente; 29

1.5.4. Buzamientos con dirección Norte – Sur y 60°W; 29

1.6. Condiciones Hidrogeológicas 30

2. EQUIPOS 32

2.1. Equipos de Perforación 32

2.1.2. Sonda Diamec 262 32

2.1.2. FlexiROC T35 Atlas Copco. 33

2.2. Equipos De Inyección 34

2.3. Equipos Para Registro De Parámetros 35

3. DIAGRAMA DEL PROCESO PARA LA DEFINICION TRATAMIENTO DEL NUCLEO DE LA PRESA 37

3.1. Perforaciones Con Recuperación Recobro 38

3.2. Índice RQD (Rock Quality Designation) 43

3.3. Análisis Del Índice RQD - Perforación P1DEN 44

4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 52

4.1. Metodología del ensayo 52

4.2. Resultados del ensayo de esfuerzo a la compresión 64

5. ENSAYO DE LUGEON 66

5.1. Datos del Ensayo de Lugeón 69

5.2. Análisis del Ensayo de Lugeón 88

6. TRATAMIENTO DE INYECCION DEL NUCLEO DE LA PRESA 90

6.2. MÉTODOS DE INYECCIÓN 92

6.1.1 Tipos de Inyección aplicable al núcleo de la presa 92

6.1.1.1. Inyección de consolidación 92

6.1.1.2. Inyección de Cortina 94

6.1.1.3. Método GIN (Grouting Intensity Number) 94

6.1.1.4. Método Gin Procedimiento 95

7. DISEÑO UNICO MEZCLA DE INYECCION 96

7.2. Dosificación de la Mezcla 97

7.2.1. Mezcla Usada para Método de Engrosamiento Sucesivo 97

8. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES 98

9. BIBLIOGRAFIA 102

ANEXOS 103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 clasificación del macizo rocoso mediante el índice RMR 25

Tabla 2 Índice RQD 43

Tabla 3. Análisis RQD Perforación P1DEN 0 a 25m 45

Tabla 4. Análisis RQD Perforación P1DEN 26.5 a 60.3 m. 46

Tabla 5 Análisis RQD Perforación P1DEN 60,3 a 91m 47

Tabla 6. Análisis RQD Perforación P1DEN 91 a 134m 48

Tabla 7 Tipo Roca Según en Función de la Profundidad 53

Tabla 8. Tabla con Resistencia a la compresión rocas y materiales de construcción 54

Tabla 9 Resultados Ensayo de Resistencia a la compresión en Núcleos en Roca 64

Tabla 10 Estados de la prueba de Lugeon 68

Tabla 11 Ensayo de permeabilidad Tramo 0.00 a 7.50 m 70

Tabla 12 Ensayo de permeabilidad Tramo 7.50 a 15.0m 71

Tabla 13 Ensayo de permeabilidad Tramo 15.0 a 22.5m 72

Tabla 14 Ensayo de permeabilidad Tramo 22.5 a 30.0m 73

Tabla 15 Ensayo de permeabilidad Tramo 30.0 a 37.5m 74

Tabla 16 Ensayo de permeabilidad Tramo 37.5 a 45.0 m 75

Tabla 17 Ensayo de permeabilidad Tramo 45.0 a 52.5 m 76

Tabla 18 Ensayo de permeabilidad Tramo 52.5 a 60.0 m 77

Tabla 19 Ensayo de permeabilidad Tramo 60.0 a 67.5 m 78

Tabla 20 Ensayo de permeabilidad Tramo 67.5 a 75.0 m 79

Tabla 21 Ensayo de permeabilidad Tramo 75.0 a 82.5 m 80

Tabla 22 Ensayo de permeabilidad Tramo 82.5 a 90.0 m 81

Tabla 23 Ensayo de permeabilidad Tramo 90.0 a 97.5 m 82

Tabla 24 Ensayo de permeabilidad Tramo 97.5 a 105.0 m..... 83

Tabla 25 Ensayo de permeabilidad Tramo 105.0 a 112.5 m..... 84

Tabla 26 Ensayo de permeabilidad Tramo 112.5 a 120.0 m..... 85

Tabla 27 Ensayo de permeabilidad Tramo 120.0 a 127.5 m..... 86

Tabla 28 Ensayo de permeabilidad Tramo 127.5 a 135.0 m..... 87

Tabla 29 Dosificación lechadas en el método de engrosamiento sucesivo..... 97

Tabla 30 Síntesis de Parámetros para Definir el Método de Inyección 100

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1, Proceso para determinar Tipo de tratamiento del Núcleo de la Presa..... 37

Gráfica 2 Registro de Perforación P1DEN Eje Presa Estratificado 51

Gráfica 3 Curva Resistencia a la Compresión en Función de la Perforación..... 64

Gráficas 4 Comparativo Resistencia Teórica Vs. Resistencia Obtenida..... 65

Gráficas 5 Diagrama de la Ubicación de los Equipos en el Ensayo de Lugeon..... 66

Gráfica 6 Ensayo con Obturador Sencillo y con Obturador Doble..... 67

Gráfica 7 Disposición Barrenos para Cortina Profunda en Núcleo de la Presa 90

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Maqueta Proyecto Hidroeléctrico Ituango 17

Ilustración 2 Plano Ubicación Sitio de Presa 18

Ilustración 3 Secado Núcleo de la Presa después del Desvió 20

Ilustración 4 Lecho Rio Cauca, Núcleo Presa 22

Ilustración 5 Sitio de Presa Antes del Desvió del rio Cauca 23

Ilustración 6 Tipos de Terreno Según RQD 24

Ilustración 7 Sitio de Presa 27

Ilustración 8. Sitio de Presa Antes de la Intervención 31

Ilustración 9 Sonda Diamec 262 en operación Elevación 311 Núcleo Presa 32

Ilustración 10. FlexiROC T35 Atlas Copco 34

Ilustración 11 Registro Fotográfico de Perforación 1 - 2 38

Ilustración 12 Registro Fotográfico de Perforación 3 – 5 39

Ilustración 13 Registro Fotográfico de Perforación 9 - 12 40

Ilustración 14 Registro Fotográfico de Perforación 13 - 16 41

Ilustración 15 Registro Fotográfico de Perforación 25 - 27 42

Ilustración 16 Proceso de Alistamiento y falla de las Muestras de Recuperación 55

Ilustración 17 Penetración de la Lechada 92

Ilustración 18 Disposición en Tresbolillo 93

Ilustración 19 Disposición de la Cortina de Inyección Profunda 94

Ilustración 20 Tipos de falla de probetas a compresión uniaxial 99

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Recolección datos de campo ensayo de Lugeón 103

RESUMEN

La primordial característica de una presa es su impermeabilidad y esta depende en gran parte de los materiales que la conforman y la composición litológica de su fundación, debido a la presencia de diferentes sistemas de discontinuidades geológicas, tales como fisuras, grietas o fallas del macizo rocoso en el sitio donde se emplazará la Presa. Con el propósito de contrarrestar estos aspectos y garantizar la estanqueidad del embalse que se formará, se implementan las pantallas de impermeabilización o cortinas profundas para las cuales se han desarrollado técnicas de inyección de lechada, realizadas con diferentes metodologías en función del nivel de fracturamiento y la permeabilidad de la roca calculada. En el Proyecto Hidroeléctrico Ituango, se contó con información geológica, obtenida a través de estudios previos y sondeos en sitios estratégicos, así como la interpolación de sistemas de diaclasas y discontinuidades halladas en los mismos; es por esta razón que la información detallada de las características geo-mecánicas del macizo rocoso que se encontraba en el lecho del rio Cauca, sólo podía ser estimativa, quedando la incertidumbre de identificar claramente la metodología de inyección a ejecutar, hasta realizar las perforaciones con recuperación de muestras en la fundación del sitio de Presa, actividad que solo pudo llevarse a cabo tras desviar de su cauce natural el segundo afluente más importante del centro del país.

El enfoque de este estudió es el de identificar las condiciones de permeabilidad de una matriz de roca a la cual, por condiciones naturales, nunca se había tenido acceso e indicar de acuerdo a sus condiciones evaluadas, cuál es la metodología más conveniente para obtener los mejores niveles de impermeabilidad del macizo para la fundación de la Presa, de la que será en el 2018 la Central Hidroeléctrica más grande de Colombia.

ABSTRAC

The primordial characteristic of a dam is its impermeability, which is dependent ton both the materials that form it and the lithological composition of its foundation. Its importance is due to the presence of different systems of geological discontinuities, such as fissures, cracks, or faults in the rock mass in the site where a dam is to be erected. With the purpose of counteracting these aspects and guaranteeing the structural stability of the reservoir that will be formed waterproofing walls are placed, for which there has been a development of techniques on grout injections, performed through differing methodologies of function by the fracturing level and the permeability of the rock calculated. In the Ituango Hydroelectric Project, there was much useful geological information obtained through previous studies and surveys done in strategic places, such as the interpolation of systematic joints and discontinuities found within them. It is for this reason that the information that has been detailed by the geomechanical characteristics of the rocky mass that was found in the bed of Cauca river could only be estimated, leaving the uncertainty of clearly identifying the methodology of the injection to be implemented, until finally executing the drilling and recovering samples from the foundation of the dam site. An activity that could only be carried out after diverting from its natural course, the second most important tributary in the center of the country. The focus of this study is to identify the conditions of permeability in a matrix of rock, of which, through natural causes, had never been accessed. Also, according to its evaluate conditions, it is necessary to indicate the most convenient mythology in order to obtain the best levels of impermeability of the rock mass for the foundation of the dam, which will be the largest hydroelectric power station in Colombia by 2018.

GLOSARIO

Inyección: Generalmente se termina la operación con la inyección de lechada o mortero de cemento en los alvéolos tubulares. (Torroja, 2007)

Macizo Rocoso: se le denomina al conjunto conformado por la matriz rocosa y las discontinuidades que afectan al material de roca en conjunto. En cuanto a propiedades geomecánicas, un macizo rocoso se considera como un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo. (Escuela Gologia, 2013)

Gneis: roca metamórfica compuesta por los mismos minerales que el granito (cuarzo, feldespato y mica) pero con orientación definida en bandas, con capas alternas de minerales claros y oscuros. A veces presenta concreciones feldespáticas distribuidas con regularidad, denominándose en este caso gneis ocelado.

Ensayo Lugeon: Ensayo para la determinación de la permeabilidad que se aplica típicamente a un sondeo en ejecución tal que tiene que ser entubado durante el avance. Se lleva a cabo en terrenos no consolidados (Ortiz, 1997).

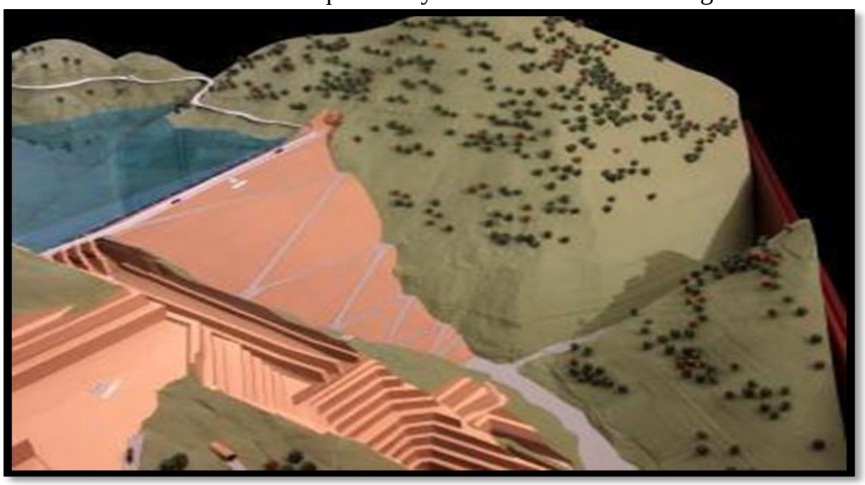
Diques de Cuarzo: Estas estructuras tienen un ancho hasta 5 m. La textura es microcristalina hasta porfídica. Muy característico son contenidos elevados en cuarzo y feldespatos alcalinos. Los contenidos en máficos y plagioclasa son de menor cantidad. Como accesorios se encuentra carbonatos y clorita. Los fenocristales en la mayoría están idiomorfos y flotan en una masa (Griem, 2006).

Recobro: Porcentaje de núcleo recuperado en la perforación

INTRODUCCION

El proyecto Hidroeléctrico Ituango que es propiedad de Empresas Públicas de Medellín (EPM), quien en la actualidad se define como el proyecto hidroeléctrico más grande e importante de Colombia, no sólo por su capacidad para el abastecimiento de energía, sino por ser un reto para la ingeniería nacional. El proyecto Hidroeléctrico Ituango está localizado en el departamento de Antioquia a 171 kilómetros de su capital, Medellín. Su presa, objeto de nuestra investigación se ubica sobre el cañón del río Cauca que divide las cordilleras Central y Occidental de los Andes colombianos, aquí se construye sobre ambas márgenes del río Cauca, entre las desembocaduras de los ríos San Andrés e Ituango, al norte del departamento, 8 km abajo del denominado Puente de Pescadero. Terrenos de los municipios de Ituango y Briceño.

Ilustración 1 Maqueta Proyecto Hidroeléctrico Ituango



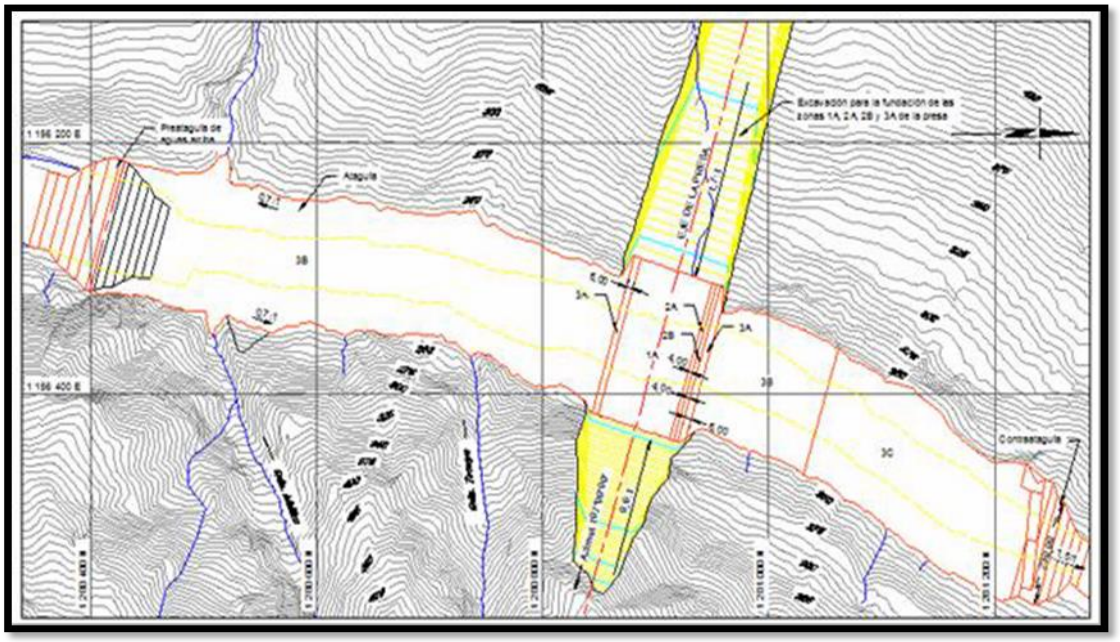
Fuente: Hidroeléctrica Ituango S.A. E.S.P.

Al Consorcio CCC Ituango le corresponderá entonces, la responsabilidad de construir en un plazo de 2.080 días (6,3 años), la presa (un dique de 20 millones de metros cúbicos de roca y de 225 metros de altura), el vertedero, los túneles de conducción, las

estructuras de captación y los túneles de descarga, así como la casa de máquinas subterránea (edificio que albergará las 8 unidades de generación).

El tipo de presa escogido por el diseñador para este proyecto fue el de Enrocado con Núcleo de Arcilla o ECRD (Earth Core Rockfill Dam) (Medina, 1991) por sus siglas en inglés, tendrá una altura de 245 metros de altura y con un volumen de 19 millones de metros cúbicos, tendrá la capacidad de embalsar 2.720 millones de metros cúbicos de agua, inundando 3.800 hectáreas aproximadamente.

Ilustración 2 Plano Ubicación Sitio de Presa



Fuente: Departamento de Ingeniería Consorcio CCC Ituango

El sitio de construcción de la cortina de inyección está estrechamente relacionado con el sitio de presa, el cual se encuentra localizado en las coordenadas Margen Izquierda, Norte: 1281001.34 Este: 1156012.25 Margen Derecha Norte: 1280840.97 Este: 1156536.79

Elevación 190.00 msnm.

DEFINICION DEL PROBLEMA

Después de haberse cumplido con éxito el hito de la desviación del Rio Cauca el 17 de febrero de 2014, todo el esfuerzo para cumplir con el exigente programa de obra para la construcción de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, se enfocó hacia el inicio oportuno de la excavación y limpieza del núcleo de la presa. La razón principal de iniciar con esta tarea, se debe a que allí se encuentra una actividad que representa un desafío para la ingeniería, la inyección de la cortina profunda de la presa, que consiste en una serie de perforaciones que inicialmente servirán para determinar las características geomorfológicas del lecho rocoso del rio cauca, nunca antes explorado y después se aprovecharán para inyectar a través de ellas lechada a presión con el propósito de que se cumpla con el objetivo de garantizar una efectiva estanqueidad en el futuro embalse que creará esta presa.

La capacidad portante del macizo rocoso de la fundación, de acuerdo con el tipo de presa a construir, se considera adecuada por varias razones. La relativa alta tasa de profundización del cauce ha generado que las laderas sean de alta pendiente y consecuentemente no se haya podido desarrollar un perfil de suelo de espesor importante, incluso en vastas áreas el espesor es nulo. Como excepción, se tienen algunas zonas localizadas hacia aguas abajo de la presa, en donde además de algunos depósitos coluviales aparece un importante depósito aluviotorrencial, ambos no obstante por fuera del área de fundación del núcleo.

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema; “El programa de obra del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, define como ruta critica la inyección de la cortina

profunda en el lecho rocoso, para dar inicio a uno de los hitos más importantes y representativos de la obra, los llenos de la presa; pero el desconocer las características del macizo rocoso a consolidar, es una gran limitante para determinar estrategias y rendimientos”

De acuerdo con esta situación, el interrogante principal del proyecto propuesto se define como; “Bajo los parámetros de incertidumbre que genera el desconocimiento de las condiciones geomorfológicas del lecho rocoso del rio Cauca, ¿Cuál es la metodología apropiada para obtener altos rendimientos en los procesos de tratamientos de la cortina profunda mediante inyección de lechada hidráulica en la fundación del núcleo de la presa?

Definidos el problema y el cuestionamiento principal que dan origen a esta propuesta, se presenta a continuación el árbol del problema, basado en las causas y consecuencias del mismo, detectadas hasta el momento, que bien podrían ser modificadas durante el transcurso del proyecto.

Ilustración 3 Secado Núcleo de la Presa después del Desvió

Fuente: Propia

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las condiciones geomorfológicas del macizo rocoso donde se hará la fundación del núcleo de la presa en el proyecto Hidroeléctrico Ituango, desarrollando las metodologías y los procedimientos adecuados para el proceso de inyección en pro de optimizar tiempos de ejecución, productividad y costo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar el registro de perforación de la fundación del núcleo de la presa, mediante las perforaciones de recuperación con diamantina.

Definir el método de inyección apropiado de acuerdo a las condiciones encontradas en el terreno con base a las pruebas de campo y ensayos de laboratorio realizados a las muestras.

Establecer los tramos de profundidad para los diferentes tipos de inyección que se emplearan dentro del macizo rocoso del núcleo de la presa.

JUSTIFICACION

La cortina profunda de inyección es uno de los principales procesos de mejoramiento del macizo rocoso (Cambefort & Cornelius, 2003). El cual se desarrollará dentro del proyecto Hidroeléctrico Ituango, cuya finalidad es la de garantizar la estanqueidad de las aguas para la construcción de la presa y el mejoramiento mecánico del macizo.

El macizo rocoso del sitio de presa, puede caracterizarse por tal abundancia de fisuras que una perforación ejecutada en cualquier punto puede ser susceptible a absorber una cantidad importante de mezcla inyectada, por lo anterior, es necesario tener en consideración la calidad del macizo rocoso para elegir el método de inyección a emplear. En función de lo anterior y con el ánimo de proponer metodologías que satisfagan los parámetros de calidad y rendimientos exigidos para el desarrollo de cronograma de actividades del proyecto, se podrían determinar a través de nuestra investigación, los sistemas de inyección para impermeabilización del lecho rocoso que sean potencialmente viables.

Ilustración 4 Lecho Rio Cauca, Núcleo Presa

Fuente: Propia

Es difícil saber cómo se propagan las lechadas de inyección en el macizo rocoso, sin embargo es preciso realizar cambio de diferentes tipos de lechada o metodologías de inyección durante los trabajos si se quiere llegar a un resultado satisfactorio, ya que el reconocimiento detallado de la estructura del subsuelo no es tan preciso como el que proporcionaría una observación directa durante la inyección.

El producto de este trabajo investigativo brindará información precisa acerca de las metodologías y procedimientos adecuados para desarrollar las actividades prioritarias de inyección del macizo rocoso en la fundación del núcleo de la presa en el Proyecto Hidroeléctrico Ituango y servirá como referencia para el análisis de condiciones de similares en otros proyectos hidroeléctricos que requieran de este tipo de tratamientos.

Ilustración 5 Sitio de Presa Antes del Desvió del rio Cauca

Fuente: Propia

1. MARCO TEORICO

1.1. Macizos Rocosos, Métodos Para Clasificación

El objetivo de la clasificación geomecanica de los macizos rocosos es conseguir los parámetros mecánicos para ser empleados en el diseño de obras de ingeniería. Los macizos rocosos al ser medios discontinuos, muestran comportamientos geomecanicos complejos, analizarlos de forma simplificada nos lleva a poder caracterizarlo y estudiarlo en función de sus distintas aplicaciones.

Todas las clasificaciones geomecánicas se adoptan teniendo como base la observación directa de los macizos rocosos donde se definen sus características, y con la realización de ensayos que son muy sencillos podemos determinar los índices de calidad que están relacionados con sus propiedades y parámetros del macizo.

1.1.1. Características principales que se consideran en un macizo rocoso

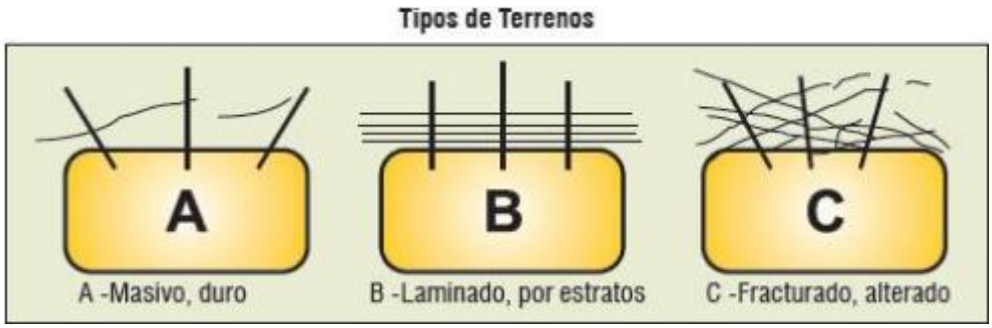


Ilustración 6 Tipos de Terreno Según RQD

Resistencia del material rocoso.

Índice RQD (Rock Quality Designation)

Espaciamiento, orientación y condiciones de discontinuidades.

Análisis de las estructuras geológicas y presencia de fallas.

Estado de esfuerzos.

Clasificación RMR

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso se expresa por medio del índice de calidad RMR también conocida como clasificación geomecanica de Bieniawski, fue presentada por el Ingeniero Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. Permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. (Ayala Carcelo, 2006) Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones., el cual varía de 0 a 100.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (Kpa)	Angulo de fricción (°)
I	Muy buena	81– 100	>400	**>45**
II	Buena	61 – 80	300 - 400	**35 – 45**
III	Media	41 – 60	200 - 300	**25 – 25**
IV	Mala	21 – 40	100 - 200	**15 – 25**
V	Muy mala	< 20	< 100	**< 15**

Tabla 1 clasificación del macizo rocoso mediante el índice RMR

1.2. Marco Geológico del Proyecto

El cañón del río Cauca divide la cordillera Occidental y la Central en los Andes colombianos, la evolución geológica y estructural de esta zona presentan diferencias muy marcadas. En la cordillera occidental el origen de su formación es marino, en cambio la cordillera central tiene su evolución y formación en el tipo continental, esto se

denota a través del sistema de fallas geológicas que se conocen como Cauca y Romeral desde finales del periodo Cretáceo (Florez, 2003).Y en dos diferentes terrenos alóctonos saturados.

Teniendo estos antecedentes se pueden analizar una variedad muy grande de los diferentes tipos de roca y de los depósitos no consolidados.

El macizo rocoso que se encuentra en el área de influencia de nuestra investigación podemos determinar que se encuentra sobre una litología homogénea correspondiente a gneises esquistos (Cambefort & Cornelius, 2003). Los gneises, tienen como base su protolito sedimentario y despliegan una gran variabilidad textural en zonas o distancias muy cortas.

La clasificación del tipo de roca que se localiza en el área de influencia de nuestra investigación, va desde rocas grueso granulares de bandas decimetricas, las cuales intercalan el feldespato con anfíboles y biotita con cuarzo; de igual manera se encuentran afloramientos de láminas milimétricas conformadas por grano muy fino y con bastantes intercalaciones similares.

De aquí la gran variedad textural de los macizos rocosos en la zona donde actualmente se construye el proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Los estudios son realizados por la firma diseñadora del proyecto Integral S.A., la capacidad portante del macizo rocoso en la fundación de la presa, está de acuerdo con el tipo de presa escogido para este proyecto y se puede soportar por las siguientes razones:

La alta tasa de profundización del cauce en el cañón formado por en rio en el sitio de presa, ha generado que las laderas sean de pendiente muy alta y consecuentemente no se

haya podido desarrollar un perfil de suelo de perfil importante y en varias zonas es casi nulo.

Existen zonas aguas debajo de la presa, en donde existen depósitos coluviales y también aparece un importante deposito aluviotorrencial, ambos por fuera de la zona de afectación de la fundación núcleo de la presa.

Ilustración 7 Sitio de Presa

Fuente: Propia

A pesar de lo anterior, por la naturaleza de la roca y por la presencia de importantes discontinuidades en los sectores aledaños a la presa, es posible predecir que el flujo en la fundación será de tipo secundario, es decir, mayoritariamente a través de diaclasas preferentemente verticales y sin relleno. Esta condición genera un importante reto para llevar a cabo el tratamiento mediante cortinas para inyección de lechada, con el agravante de que del rendimiento de esta actividad, dependerá el inicio de los llenos de la presa en el sector del núcleo impermeable.

1.3. Geomorfología del Proyecto

Como las obras se desarrollan en el cañón del río Cauca este sector se caracteriza por sus vertientes empinadas y la estreches del mismo, esto describe un valle que tiene una formación o sección en forma de “V” mostrando una ligera asimetría, en su margen derecho la sección es mucho más empinada que el ene margen izquierdo, este rasgo se relaciona directamente la disposición de las rocas metamórficas y la disposición general de las estructuras de foliación. En el fondo del cañón transcurre el rio Cauca con una amplitud media de 70 m y un gradiente de 0.025°, desde la desembocadura del rio Ituango hacia el sitio de presa el cañón tiene una elevación de 1000 m de altura, con una forma convexa y las pendientes van ganado inclinación a medida que se aproximan al lecho del rio, las pendientes en la margen derecha se clasifican como fuertes, con valores que superan los 45° con varios sectores verticales y con predominio de afloramiento rocoso, en la parte de la vertiente de esta margen se encuentran suelos residuales. En la margen izquierda las pendientes están entre los 30° y 45° en esta zona hay presencia de bloques rocosos en superficie.

1.4. Características Estructurales

Con relación al macizo rocoso la principal característica que este presenta son los planos de debilidad que son generados por la floración de tendencia general, en procesos puntuales y ocasionalmente se detectan plegamientos y el buzamiento varia. Como es un sistema compuesto en su mayoría de diaclasas en esta estructura ha permitido la liberación de esfuerzos que han producido zonas de cizallamiento en paralelo de manera

aleatoria y con numerosas persistencias en toda la zona estudiada, es decir entre ambas márgenes del cauce del rio Cauca.

1.5. Sistemas Estructurales Predominantes

1.5.1. De Discontinuidades.

El sistema estructural de discontinuidades hace parte a la foliación, cabe anotar que es el sistema con mayor continuidad, con espaciamiento promedio menor y de mayor persistencia. La textura del material varía según la rugosidad, si hay compromiso del material de grano fino es totalmente lisa, mientras en otros sectores es grueso – granulares es totalmente rugosa, en ambos casos desde la ondulada hasta la planar.

1.5.2. Buzamientos Subverticales en Dirección Norte – Sur;

La dirección del sistema de Norte – Sur con buzamientos Subverticales converge en dirección hacia el cauce del rio Cauca, este sistema se identifica en los estribos del núcleo de la presa en ambas márgenes.

1.5.3. Buzamientos dirección Oriente – Occidente;

Este sistema con dirección Oriente - Occidente presenta buzamientos verticales a Subverticales en el sector de las quebradas Burunda y Tenche el cual les sirve como control natural a estos afluentes.

1.5.4. Buzamientos con dirección Norte – Sur y 60°W;

Este sistema de buzamientos que tiene una dirección de 60°W en dirección Norte – Sur, es el que controla en la margen derecha la caída de bloques al lecho del rio.

Sobre la misma margen derecha se localizan una serie de fallas menores de alto ángulo, son aflorantes y de disposición transversal a la dirección del rio. Estas son las condiciones estructurales, identificadas en la zona donde actualmente se realiza las obras del proyecto Hidroeléctrico Ituango, por lo cual esto representa una de las innumerables fuentes de afectación al macizo rocoso, presentando sectores de mayor fracturamiento, los cuales se convierten en posibles caminos preferenciales para el flujo de agua en las zonas de afectación del núcleo de la presa, y trasladando los efectos que el proceso de meteorización presentes en la porción superficial de los estribos del núcleo de la presa a zonas más profundas del macizo rocosos que se pretende intervenir con la cortina de inyección profunda. La presencia de bandas de cizalla en los rellenos de materiales blandos producto de la foliación y en varios casos con una disposición mucho más corta lo cual genera sectores de resistencia menor a los valores definidos para estos tipos de roca, esta condición es asocia con otros niveles más intensos de foliación y se asocian principalmente y texturalmente a esquistos.

1.6. Condiciones Hidrogeológicas

En las perforaciones exploratorias a 140 metros de profundidad se ha confirmado la existencia de agua, se estableció la existencia de acuíferos libres y efluentes que presentan génesis con influencia regional ya que fue sometido a gravedad y presenta un artesianismo surgente. Como las propiedades intrínsecas del macizo rocoso que está constituido en su mayoría por roca sedimentaria, compuesta por una matriz impermeable, la cual no benefician al paso del agua, esta proceso se presenta muy clara mete en el material fisurado y se asocia también con zonas de fracturamiento intensó y

fallas en el macizo rocoso, que se han desplegado debido a que en la zona hay roca muy frágil y es donde se produce la deformación frágil de la roca que va a soportar el núcleo de la presa, otro proceso que ha producido fragmentación de la roca a esas profundidades es la actividad tectónica ya que hay formaciones muy delgadas de fallas estratigráficas subordinadas a las fallas de rumbo, esto permite la comunicación hidráulica producto de la fracturación tectónica (Herrera, 2013), el nivel freático que se encuentra en el núcleo de la presa provoca un flujo constante de agua subterránea, el cual drena hacia el cauce original del rio.

Ilustración 8. Sitio de Presa Antes de la Intervención

Fuente: http://informeinmobiliario.com/noticias/la-via-principal-de-hidroituango

2. EQUIPOS

Dentro del proceso de la inyección de la cortina profunda, se cuentan con varios equipos indispensables para esta actividad, como son los equipos de perforación, los equipos de inyección, los equipos empleados en los registros de parámetros a continuación se presentan las especificaciones técnicas de estos.

2.1. Equipos de Perforación

2.1.2. Sonda Diamec 262

El modelo Diamec 262 es un equipo de exploración flexible que nos permite perforar hasta 1000 m con herramientas ITH en varios diámetros de broca dependiendo el tipo de cilindro de avance que se emplee, este equipo incluye dos bastidores de avance , cuatro unidades de rotación operadas por un sistema hidráulico de alto poder.

Ilustración 9 Sonda Diamec 262 en operación Elevación 311 Núcleo Presa

Fuente propia

Información básica	
Profundidad máxima	500 m (1.650 ft) (A)
Diámetro	78 mm
Velocidad máxima*	1.800 r. p. m.
Par de torsión máximo*	660 N/m
Fuerza de avance/tracción	52 kN
Longitudes de avance	850 mm o 1.800 mm Módulos
Bomba de lodo	Trido 80
Unidad de potencia (UP)**	45 UP Serie E o 40 UP Serie DT
Control hidráulico directo	

2.1.2. FlexiROC T35 Atlas Copco.

Los equipos que se emplean para la perforación de la roca son marca Atlas Copco El carro FlexiROC T35 ofrece una de las soluciones más flexibles de su clase, con un rendimiento optimizado para canteras de tamaño mediano. Gracias al tamaño de chasis relativamente pequeño, el FlexiROC T35 tiene una excelente capacidad y estabilidad de desplazamiento.

Tamaño y diseño óptimos del chasis para facilitar el transporte y mejorar la capacidad y estabilidad de desplazamiento.

Capacidad de perforación horizontal con el kit para perforación de zapateras.

Una capacidad de aire libre suministrado de más del 15% para martillos de 3 y 4 pulgadas a 14 bar (200 psi) producido por un compresor Atlas Copco.

Alto rendimiento con menos revoluciones, lo que significa mayor vida útil del motor y menor consumo de combustible.

Ilustración 10. FlexiROC T35 Atlas Copco

Fuente propia

2.2. Equipos De Inyección

Bomba de Inyección tecniwell TGW 7Planta de inyección, estacionaria y móvil. TGW 7es una planta completa de inyección de cemento, preparada para uso inmediato. Se compone de mezclador, agitador, bomba, unidad de potencia, panel de control y todas las mangueras necesarias. Mezclador de cemento coloidal de alta velocidad que consta de un contenedor y una carcasa. Agitador que consta de un contenedor cilíndrico

con base angular, eje mezclador Inclinado y de marcha lenta, equipado con dos pares de cuchillas: un juego cerca de la base y el otro en el centro del tanque. Un tamiz en la entrada impide que entren en la mezcla partículas grandes. Esta bomba es más simple y fácil de usar gracias a partes compuestas por módulos, presión y caudales independientes y variables, fáciles y rápidos cambios de las unidades de válvulas, fluido hidráulico, libre de contaminación del medio ambiente. El accionamiento es mediante un motor eléctrico de 22 KW de potencia, al cual se acoplan las bombas de caudal variable para los circuitos hidráulicos separados e independientes para el agitador y el mezclador hidráulico. Las bombas, montadas en línea, están situadas en el depósito y conectadas al motor eléctrico con un acoplamiento de eje flexible. Las bombas de engranaje están equipadas con válvulas de seguridad reguladas a 210 bares. Un refrigerador de agua/aceite es montado en la línea de retorno antes del filtro de retorno del depósito. El depósito hidráulico está equipado con tapón respiradero, control de nivel y con un manómetro de temperatura e interruptor de parada de motor por nivel de aceite bajo.

2.3. Equipos Para Registro De Parámetros

El BAP 160 / PDV es un aparato medida, control y registro de parámetros de inyección, el BAP 160 / PDV combina el registro de parámetros con las medidas de caudal, presión, volumen, control de bombas regulador de presión etc. Las características principales de este equipo son:

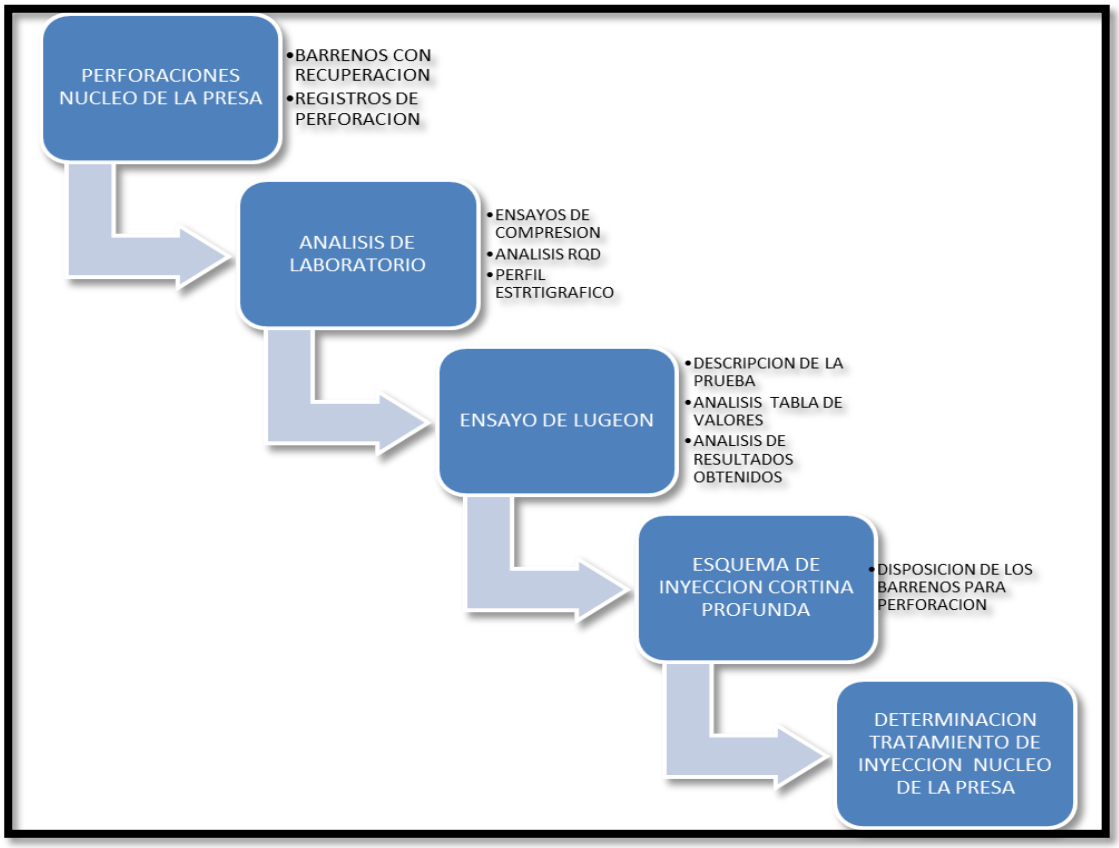
Medida y control de 1 a 4 horas.

Presentación de los parámetros de caudal, presión y volumen. Registro de parámetros de inyección en función del tiempo.

3. DIAGRAMA DEL PROCESO PARA LA DEFINICION TRATAMIENTO DEL NUCLEO DE LA PRESA

El proceso para la inyección del núcleo de la presa consta de una serie de pasos que serán representados en el siguiente cuadro;

Gráfica 1, Proceso para determinar Tipo de tratamiento del Núcleo de la Presa



Fuente: Propia

Dentro de las medidas necesarias para determinar el método de inyección de la presa, se realizaron perforaciones por medio de equipos de rotación para la obtención de núcleos del macizo rocoso del núcleo de la presa, estos lo conocemos como perforaciones con recobro y son realizados por las sondas Diamec

3.1. Perforaciones Con Recuperación Recobro

Las perforaciones con recuperación son una solución para determinar las características del macizo rocoso que se va a inyectar, pero algo particular es que para el caso de las presas, dichas perforaciones nunca se realizan durante la etapa de diseño pues sin desviar el rio y desecar su lecho es prácticamente imposible que se lleven a cabo; por esta razón aún se desconocen las características de la fundación y sus condiciones geo mecánicas. A continuación se relacionan los registros fotográficos que se le hicieron a las cajas de muestreo de una de las dos perforaciones iniciales en el lecho rocoso del rio Cauca, estas perforaciones se nombraron: P1DEN.

Ilustración 11 Registro Fotográfico de Perforación 1 - 2

Fuente: Laboratorio Consorcio CCC Ituango.

Ilustración 12 Registro Fotográfico de Perforación 3 – 5

Fuente: Laboratorio Consorcio CCC Ituango.

En la perforación P1DEN las muestras 1, 2, 3, 4 y 5 que se encuentran entre los 0 m y los 27,60 m de profundidad se destacan un fuerte fracturamiento del macizo rocoso, un nivel de cuarzo muy alto, no se presentan indicios de oxidación y se detecta una gneis masiva en todo el tramo observado, cabe resaltar que los 2,5 metros iniciales de perforación corresponde a un concreto pobre o de reposición.

Ilustración 13 Registro Fotográfico de Perforación 9 - 12

Fuente: Laboratorio Consorcio CCC Ituango

En el sector de perforación comprendido entre las cajas 9 a la 12 con una profundidad 42,50 m a 63,25 m observamos gneis rico en calcio, tramos poco fracturados como otros moderadamente fracturados, no se ha presentado oxidación, se detecta un dique de cuarzo de 10 cm en la profundidad 56,60 m, también se detecta en la profundidad de 58.20m a 58,60 m y hay presencia de una cizalladura en los 57 metros de profundidad.

Ilustración 14 Registro Fotográfico de Perforación 13 - 16

Fuente: Laboratorio Consorcio CCC Ituango

Desde la caja de muestras 13 a la 15 los recobros de la perforación desde 63,25 m a 78 m, podemos observar gneis con baja fracturación en algunas zonas y en otras hay presencia de grados de fracturación altos, se denota un dique de cuarzo a los 78 m de profundidad, hay un alto contenido de cuarzo en todo el tramo y no se han presentado zonas de oxidación.

Ilustración 15 Registro Fotográfico de Perforación 25 - 27

Fuente: Laboratorio Consorcio CCC Ituango

Con las muestras recuperadas de la perforación P1DEN que se llevó hasta los 136,00 metros de longitud, se obtienen importantes datos que permiten conocer las características de la roca; para este caso se halló un Gneis Cuarzo-feldespático con bajo a moderado grado de fracturación. La oxidación es mínima en la parte más superficial, llegando a ser cero en profundidad. Se presentan algunos diques de Cuarzo a diferentes profundidades.

3.2. Índice RQD (Rock Quality Designation)

El índice de Calidad de la Roca o RQD por sus siglas en inglés, es un sistema de clasificación usado para determinar el grado de fracturación de un macizo rocoso en función de la longitud de muestras recuperadas. Principalmente está definido por el percentil recuperado con longitud superior a 0,10 m, desconsiderándose las roturas frescas del núcleo, es decir, las que se presentaría durante el proceso de perforación y extracción de las muestras.

En otros términos, se puede afirmar, que un bajo índice RQD, corresponde a rocas altamente fracturadas, las cuales a su vez presentaran un alto grado de permeabilidad conllevando estas, a posibles altas tomas durante los procesos de inyección.

A continuación se puede observar una tabla sobre las descripciones atribuibles a los porcentajes de los índices RQD.

Índice RQD	Característica
<25%	MUY POBRE
25-50%	POBRE
50-75%	NORMAL
75-90%	BUENO
90-100%	MUY BUENO

Tabla 2 Índice RQD

A continuación se indica la formula con la que se calcula el Índice RQD:

$$RQD = \frac{\sum \text{Muestras} > 0{,}10\,\text{m}}{\text{Longitud Total Sondeo}} \; X \; 100\%$$

3.3. Análisis Del Índice RQD - Perforación P1DEN

El RQD para P1DEN analiza el índice cuantitativo de la calidad de la roca, el cual consiste en la recuperación de recobros con la perforación realizada por la diamantina, llamado el índice de la calidad de la roca (Rock Quality Index), y se define como el porcentaje representado por la sumatoria de longitudes de tramos de testigos de barrenos de diamante que se recuperan en longitudes enteras mayores a 100 mm, dividida entre la longitud total barrenada.

De acuerdo a las muestras obtenidas durante las perforaciones con recobro relacionadas en el capítulo anterior- Perforaciones Con Recuperación Recobro, se realiza la siguiente tabla con el fin de determinar el Índice RQD de la perforación P1DEN.

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 muestra en el macizo rocoso.

Tabla 3. Análisis RQD Perforación P1DEN 0 a 25m

TABLA DE DATOS PARA ANALISIS DE INDICE RQD - PERFORACIÓN P1DEN						
TRAMO (m)		LONGITUD DEL TRAMO (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN (%)	SUMATORIA DE FRAGMENTOS RECUPERADOR MAYORES A 0,10 METROS (m)	INDICE RQD (%)
0	1,5	1,5	1,39	93	0,37	25
1,5	2,5	1	0,68	68	0	0
2,5	4	1,5	1,5	100	0,47	31
4	5,5	1,5	1,08	72	0,31	21
5,5	5,65	0,15	0,15	100	0	0
5,65	7	1,35	0,64	47	0	0
7	8,5	1,5	0,85	57	0	0
8,5	10	1,5	0,4	27	0	0
10	10,5	0,5	0,27	54	0	0
10,5	11,5	1	0,7	70	0,12	12
11,5	12,3	0,8	0,57	71	0,1	13
12,3	12,7	0,4	0,36	90	0	0
12,7	13,55	0,85	0,84	99	0,73	86
13,55	13,8	0,25	0,25	100	0,21	84
13,8	14,5	0,7	0,69	99	0,47	67
14,5	14,8	0,3	0,33	110	0,18	60
14,8	16	1,2	1,15	96	0,63	53
16	17,5	1,5	1,47	98	1,26	84
17,5	18,4	0,9	0,89	99	0,79	88
18,4	18,7	0,3	0,3	100	0,3	100
18,7	19,6	0,9	0,9	100	0,9	100
19,6	20,5	0,9	0,89	99	0,58	64
20,5	22	1,5	1,4	93	1,07	71
22	23,3	1,3	1,27	98	0,83	64
23,3	23,5	0,2	0,1	50	0	0
23,5	25	1,5	1,43	95	1,28	85
25	26,5	1,5	1,47	98	1,01	67

Fuente; Propia

Tabla 4. Análisis RQD Perforación P1DEN 26.5 a 60.3 m.

TABLA DE DATOS PARA ANALISIS DE INDICE RQD - PERFORACIÓN P1DEN						
TRAMO (m)		LONGITUD DEL TRAMO (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN (%)	SUMATORIA DE FRAGMENTOS RECUPERADOR MAYORES A 0,10 METROS (m)	INDICE RQD (%)
26,5	27,6	1,1	0,85	77	0,43	39
27,6	28	0,4	0,37	93	0,15	38
28	29,1	1,1	1,5	136	0,44	40
29,1	29,5	0,4	0,4	100	0,17	43
29,5	31	1,5	1,4	93	1,16	77
31	32,5	1,5	1,5	100	0,42	28
32,5	34	1,5	1,42	95	0	0
34	35,5	1,5	1,37	91	0	0
35,5	37	1,5	1,31	87	0,3	20
37	37,7	0,7	0,67	96	0	0
37,7	38,5	0,8	0,8	100	0	0
38,5	40	1,5	1,36	91	0	0
40	41,5	1,5	1,48	99	1,11	74
41,5	42,5	1	1	100	0,82	82
42,5	43	0,5	0,5	100	0,5	100
43	44,2	1,2	1,2	100	0,39	32
44,2	45,7	1,5	1,26	84	0,65	43
45,7	46,2	0,5	0,52	104	0	0
46,2	47,5	1,3	1,25	96	0,68	52
47,5	49	1,5	1,48	99	1,23	82
49	50,5	1,5	1,44	96	1,43	95
50,5	52	1,5	1,5	100	0,73	49
52	52,3	0,3	0,25	83	0,2	67
52,3	53,5	1,2	1,2	100	0,84	70
53,5	55	1,5	1,4	93	1,06	71
55	56,5	1,5	1,35	90	0,36	24
56,5	57,5	1	0,5	50	0	0
57,5	58	0,5	0,3	60	0	0
58	59,5	1,5	1,2	80	0,28	19
59,5	60,3	0,8	0,66	83	0	0

Fuente: Propia

Tabla 5 Análisis RQD Perforación P1DEN 60,3 a 91m

TABLA DE DATOS PARA ANALISIS DE INDICE RQD - PERFORACIÓN P1DEN						
TRAMO (m)		LONGITUD DEL TRAMO (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN (%)	SUMATORIA DE FRAGMENTOS RECUPERADOR MAYORES A 0,10 METROS (m)	INDICE RQD (%)
60,3	60,8	0,5	0,27	54	0	0
60,8	62,4	1,6	1,56	97	0,56	35
62,4	63,25	0,85	0,82	96	0,59	69
63,25	64	0,75	0,75	100	0,38	51
64	65,5	1,5	1,5	100	1,07	71
65,5	67	1,5	1,46	97	0,99	66
67	68	1	0,98	98	0,74	74
68	68,5	0,5	0,46	92	0,32	64
68,5	70	1,5	1,5	100	1,35	90
70	71,5	1,5	1,4	93	1	67
71,5	72,95	1,45	1,45	100	0,99	68
72,95	73	0,05	0,05	100	0	0
73	74,5	1,5	1,37	91	1,05	70
74,5	76	1,5	1,5	100	1,21	81
76	77,5	1,5	1,31	87	0,46	31
77,5	78	0,5	0,5	100	0,13	26
78	79	1	0,88	88	0,54	54
79	80,5	1,5	1,5	100	1,38	92
80,5	82	1,5	1,5	100	1,41	94
82	82,85	0,85	0,85	100	0,85	100
82,85	83,5	0,65	0,6	92	0,59	91
83,5	85	1,5	1,47	98	1,14	76
85	86,5	1,5	1,5	100	0,66	44
86,5	87,75	1,25	1,25	100	1,23	98
87,75	88	0,25	0,24	96	0,24	96
88	89,5	1,5	1,5	100	1,4	93
89,5	91	1,5	1,5	100	1,48	99

Fuente: Propia

Tabla 6. Análisis RQD Perforación P1DEN 91 a 134m

TABLA DE DATOS PARA ANALISIS DE INDICE RQD - PERFORACIÓN P1DEN						
TRAMO (m)		LONGITUD DEL TRAMO (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN (%)	SUMATORIA DE FRAGMENTOS RECUPERADOR MAYORES A 0,10 METROS (m)	INDICE RQD (%)
91	92,5	1,5	1,46	97	1,41	94
92,5	94	1,5	1,1	73	0,6	40
94	95,5	1,5	0,4	27	0	0
95,5	97	1,5	1,5	100	1,26	84
97	98,5	1,5	1,5	100	1,49	99
98,5	98,7	0,2	0,19	95	0,19	95
98,7	100	1,3	0,92	71	0,66	51
100	101,5	1,5	1,27	85	0,72	48
101,5	103	1,5	1,5	100	1,49	99
103	104	1	0,98	98	0,79	79
104	104,5	0,5	0,5	100	0,2	40
104,5	106	1,5	1,47	98	0,29	19
106	107,5	1,5	1,48	99	1,34	89
107,5	108,7	1,2	1,2	100	0,33	27
108,7	109	0,3	0,24	80	0	0
109	110,5	1,5	1,49	99	0,99	66
110,5	112	1,5	1,48	99	0,82	55
112	113,5	1,5	1,36	91	1,07	71
113,5	115	1,5	1,5	100	1,46	97
115	116,5	1,5	1,5	100	1,44	96
116,5	118	1,5	1,5	100	1,24	83
118	119,5	1,5	1,5	100	1,34	89
119,5	121	1,5	1,48	99	0,97	65
121	122,5	1,5	1,48	99	0,73	49
122,5	122,7	0,2	0,2	100	0,2	100
122,7	124	1,3	1,22	94	0,9	69
124	125,5	1,5	1,36	91	0,39	26
125,5	127	1,5	1,5	100	0,64	43
127	127,6	0,6	0,6	100	0,6	100
127,6	128,5	0,9	0,64	71	0,61	68
128,5	130	1,5	1,26	84	0,47	31
130	131,5	1,5	1,42	95	1,2	80
131,5	132,85	1,35	1,35	100	1,01	75
132,85	133	0,15	0,14	93	0	0
133	134,5	1,5	1,41	94	0,33	22
134,5	136	1,5	1,5	100	0,81	54

Fuente; Propia

El registro de perforación que se ha generado sobre la perforación P1DEN es un formato claro donde se denotan las características e informaciones obtenidas a partir de los recobros de la perforación y servirán para los ensayos de compresión simple que se aplicaran a los especímenes.

Con el propósito de brindar una mayor claridad a la información y sintetizar los resultados obtenidos durante las perforaciones, estos son trasladados a una tabla que es básicamente un formato que asimila los valores RQD hallados y permite hacer un paralelo entre la Litología del terreno, identificar a su vez la descripción geológica del material hallado y una representación gráfica del comportamiento en el porcentaje de recobro con respecto al índice RQD.

Es interesante al revisar el siguiente cuadro como a pesar de tener tramos con porcentajes de recobro importantes, el índice RQD no se comporta de igual manera, esto significa que dichos tramos pudieron ser recuperados en su totalidad, pero que la longitud de muestras superiores a 10 centímetros fue escaza.

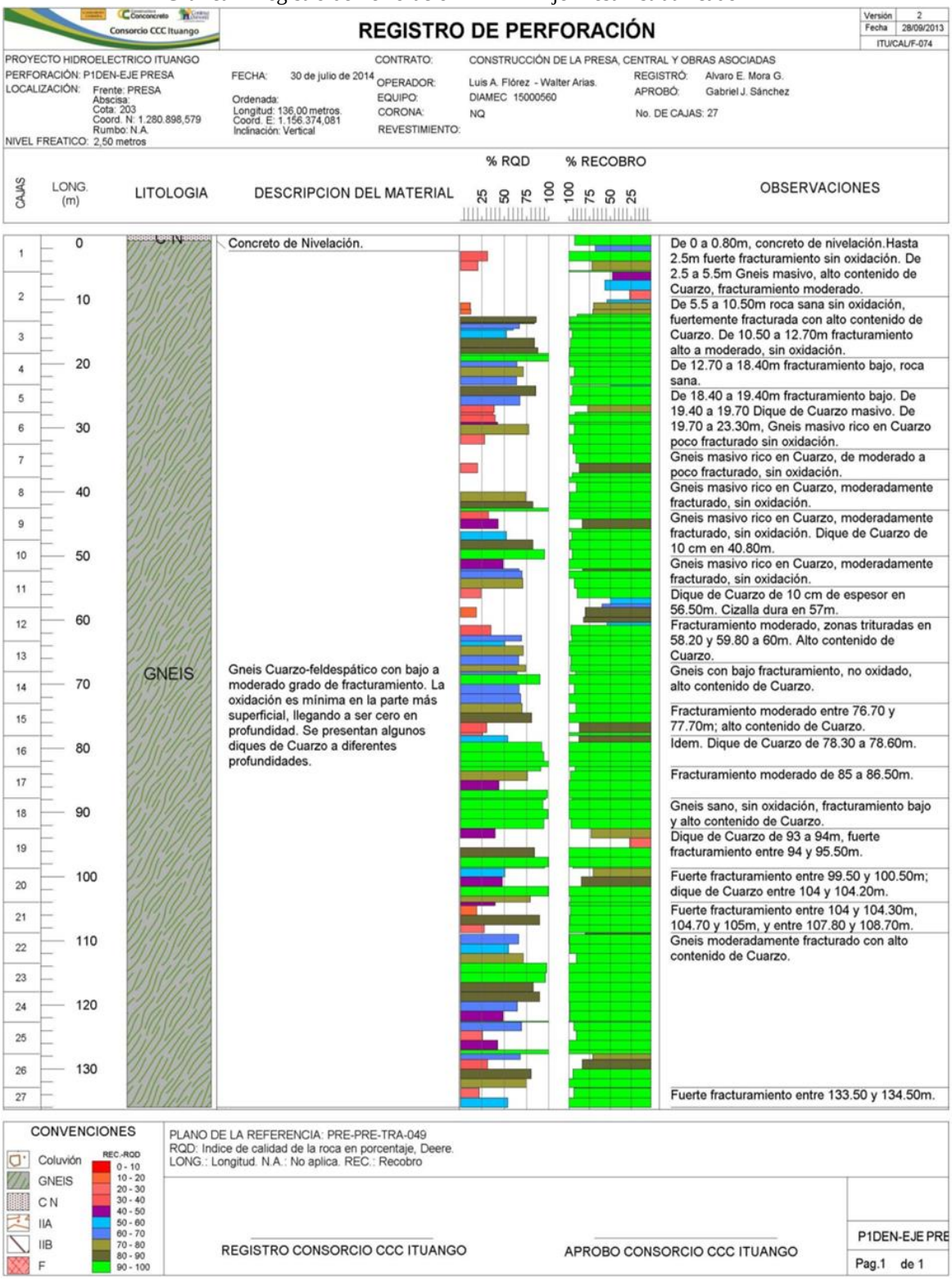
A continuación se relaciona dicha tabla, que corresponde al informe final de la perforación y donde se condensan todas las informaciones arrojadas por los núcleos recuperados.

Con las observaciones generales de cada tramo de la exploración, de donde podemos analizar el comportamiento del macizo rocoso en función de su fisuramiento, grados de oxidación, gnesis, presencia de cuarzo a las diferentes profundidades, sectores donde la roca es sana, también detectamos zonas de diques de cuarzo (J, 2004).

Dentro de la explicación de la tabla se encuentra el porcentaje de RQD y el porcentaje de Recobro para una correcta explicación de la litología del tramo. Y con

ello generar un registro claro de perforación, donde describimos claramente la profundidad de cada tramo, la litología, la descripción del material encontrado, el % RQD, y El porcentaje de recobro y las observaciones generales, que se encuentran en la siguiente gráfica. En este formato se representa gráficamente la secuencia del testigo de perforación, diferenciándose los tipos litológicos con simbologías cuyos significados son indicados al pie del formato. Se representan las estructuras, tales como fracturas, fallas, estratificación, contactos litológicos, etc.; y algunas otras características geológicas de interés.

Gráfica 2 Registro de Perforación P1DEN Eje Presa Estratificado



Fuente: Laboratorio Consorcio CCC Ituango

4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Según lo estudiado sobre el tema, la resistencia a la compresión simple se define como el esfuerzo máximo que soporta la roca sometida a una compresión uniaxial. De la roca, no tiene relación con la posible toma que puedan presentarse durante los procesos de inyección, más sin embargo, se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la resistencia de este macizo en diferentes profundidades y determinar si en este caso existe o no una correlación entre resistencia y cantidad de lechada aplicada.

La teoría afirma que las rocas naturales presentan una resistencia a la compresión más alta que las rocas metamórficas o las sedimentarias, siendo estas últimas las más débiles, debido en gran parte a la mayor porosidad presente y a la menor presencia de cementantes por su grado de meteorización (Besoain, 1985), aunque es difícil generalizar, puesto que la resistencia a la compresión puede aumentar proporcionalmente con la presencia de grano grueso y una mayor complejidad mineral en su estructura.

El objetivo primario del ensayo de compresión simple es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión de los suelos.

4.1. Metodología del ensayo

Se toman tramos de núcleo con características correspondientes a roca sana como muestras representativas para ejecutar el ensayo; los segmentos seleccionados fueron los siguientes:

Tabla 7 Tipo Roca Según en Función de la Profundidad

N° Muestra	Profundidad (m)	Observaciones
1	0,20	Muestra sana
2	6,00	Muestra sana
3	20,00	Muestra sana
4	40,00	Muestra sana
5	60,00	**Presenta fisura**
6	80,00	Muestra sana
7	100,00	Muestra sana
8	120,00	**Presenta fisura**
9	135,00	Muestra sana

Fuente Propia

Sobre los tramos correspondientes a las muestras N° 5 y N° 8, con profundidades de 60,00 y 120,00 metros respectivamente, se hallaron serias fisuras que se tendrán en cuenta para correlacionarlas con los resultados finales del ensayo, pues se entiende que los resultados deberán reflejar el comportamiento de la roca sana bajo esfuerzos de compresión.

Las muestras de testigos fueron enviadas al laboratorio para ser preparadas por un Proceso analítico “primario”. Todo el análisis será realizado por el laboratorio del Consorcio CCC Ituango el cual cuenta con la certificación de Sistema Gestión de Calidad NTC- ISO 9001, Medio Ambiente NTC-ISO 14001, Seguridad y Salud Ocupacional OHSAS18001 , una vez revisadas las muestras en el laboratorio se seleccionarán muestras para el análisis comparativo.

En la siguiente tabla se indican ciertas resistencias a la compresión por tipo de roca (Granada, 2003), recordemos que nuestras muestras son en gneises y servirán de comparativa con los resultados que arrojen los ensayos de laboratorio.

Tabla 8. Tabla con Resistencia a la compresión rocas y materiales de construcción

	(Mpa)		$kg/m^2 \cdot 10^6$		$kg/cm^2 \cdot 10^3$	
Granito	97	310	10	32	1.0	3.2
Sienita	186	434	19	44	1.9	4.4
Gabro, diabasa	124	303	13	31	1.3	3.1
Basalto	110	338	11	34	1.1	3.4
Caliza	14	255	1	26	0.1	2.6
Arenisca	34	248	4	25	0.4	2.5
Gneiss	152	248	15	25	1.5	2.5
Cuarcita	207	627	21	64	2.1	6.4
Mármol	69	241	7	25	0.7	2.5
Pizarra	138	207	14	21	1.4	2.1
Hormigón	5.5	69	1	7	0.1	0.7

Fuente: http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm

El proceso de alistamiento de las muestras de la perforación P1DEN para realizar el correspondiente ensayo de compresión, tiene como objetivo identificar cada uno de las muestras, realizar los cortes en los núcleos para generar cilindros de falla, realizar una inspección visual y determinar su conformación y hacer una valoración general de la muestra, a continuación se mostrara una secuencia de imágenes de explican el proceso.

Ilustración 16 Proceso de Alistamiento y falla de las Muestras de Recuperación

Imagen N° 1 – Selección de muestras	Imagen N° 2 – Selección de muestras
Imagen N° 3 – Muestras previas al corte	Imagen N° 4 – Proceso de corte de muestras
Imagen N° 5 – Muestras cortadas	Imagen N° 6 – Detalles superficiales de la muestra de 6,0 metros de profundidad

Imagen N° 7 – Detalles superficiales de la muestra de 6,0 metros de profundidad	Imagen N° 8 – Detalles superficiales de la muestra de 20,0 metros de profundidad

Imagen N° 9 – Detalles superficiales de la muestra de 20,0 metros de profundidad	Imagen N° 10 – Detalles superficiales de la muestra de 40,0 metros de profundidad

Imagen N° 11 – Oxidación parcial en muestra de 40,0 metros de profundidad	Imagen N° 12 – Detalles superficiales de la muestra de 60,0 metros de profundidad

Imagen N° 13 – Fisura en muestra de 60,0 metros de profundidad

Imagen N° 14 – Fisura en muestra de 60,0 metros de profundidad

Imagen N° 15 – Detalles superficiales de la muestra de 80,0 metros de profundidad

Imagen N° 16 – Detalles superficiales de la muestra de 80,0 metros de profundidad

Imagen N° 17 – Detalles superficiales de la muestra de 100,0 metros de profundidad

Imagen N° 18 – Detalles superficiales de la muestra de 100,0 metros de profundidad

Imagen N° 19 – Detalles superficiales de la muestra de 120,0 metros de profundidad

Imagen N° 20 – Fisura en muestra de 120,0 metros de profundidad

Imagen N° 21 – Fisura en muestra de 120,0 metros de profundidad

Imagen N° 22 – Detalles superficiales de la muestra de 135,0 metros de profundidad

Imagen N° 23 – Falla de la muestra de 6,0 metros de profundidad

Imagen N° 24 – Aspecto de la falla en la muestra de 6,0 metros de profundidad

Imagen N° 25 – Falla de la muestra de 20,0 metros de profundidad

Imagen N° 26 – Falla de la muestra de 20,0 metros de profundidad

Imagen N° 27 – Aspecto de la falla en la muestra de 20,0 metros de profundidad

Imagen N° 28 – Falla de la muestra de 40,0 metros de profundidad

Imagen N° 29 – Falla de la muestra de 40,0 metros de profundidad

Imagen N° 30 – Aspecto de la falla en la muestra de 40,0 metros de profundidad

Imagen N° 31 – Aspecto de la falla en la muestra de 60,0 metros de profundidad

Imagen N° 32 – Falla de la muestra de 80,0 metros de profundidad

Imagen N° 33 – Aspecto de la falla en la muestra de 80,0 metros de profundidad	Imagen N° 34 – Falla de la muestra de 100,0 metros de profundidad

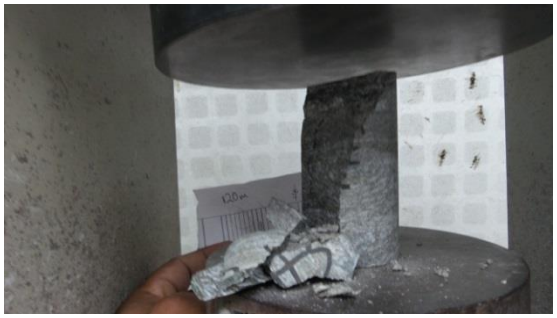
	
Imagen N° 35 – Aspecto de la falla en la muestra de 100,0 metros de profundidad	Imagen N° 36 – Falla de la muestra de 120,0 metros de profundidad

Imagen N° 37 – Aspecto de la falla en la muestra de 120,0 metros de profundidad	Imagen N° 38 – Falla de la muestra de 135,0 metros de profundidad

Imagen N° 39 – Aspecto de la falla en la muestra de 135,0 metros de profundidad	Imagen N° 40 – Falla de la muestra de 0,20 metros de profundidad

Imagen N° 41 – Aspecto de la falla en la muestra de 135,0 metros de profundidad

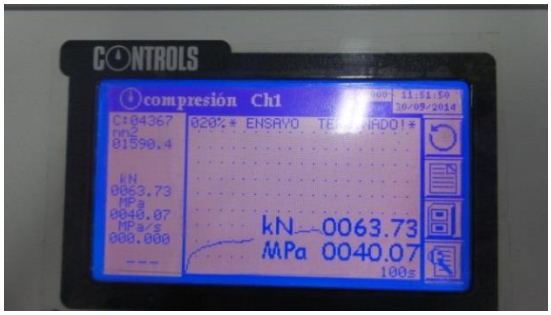


Imagen N° 42 – Interfaz del sistema de la prensa usada

Imagen N° 43 – Muestras falladas

Fuente: Propia

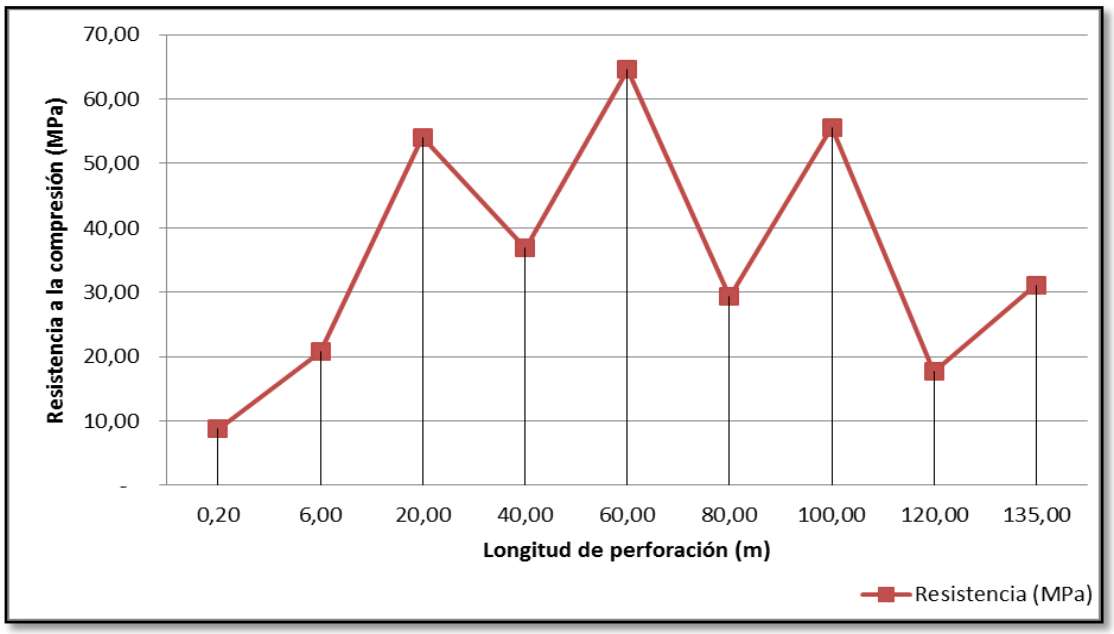
4.2. Resultados del ensayo de esfuerzo a la compresión

Después de realizado el ensayo de esfuerzo a la compresión sobre los núcleos extraídos en el lecho rocoso del rio Cauca se obtiene la siguiente tabla:.

TABLA DE RESULTADOS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEOS EN ROCA												
N° Muestra	Profundidad (m)	Fecha Perforación	Fecha Realizacion Ensayo	Peso (g)	Altura (cm)	Diam. (Cm)	Area (cm^2)	Dens. (g/cm^3)	Carga (KN)	F.C	Resistencia (Kg/cm^2)	Resistencia (MPa)
1,00	0,20	02-sep-14	30-sep-14	422,00	10,38	4,71	17,42	2,33	15,00	1,02	89,22	8,75
2,00	6,00	02-sep-14	30-sep-14	436,00	8,95	4,71	17,42	2,80	36,50	0,99	211,91	20,79
3,00	20,00	02-sep-14	30-sep-14	452,00	9,36	4,71	17,42	2,77	94,30	1,00	551,33	54,08
4,00	40,00	02-sep-14	30-sep-14	474,00	9,81	4,71	17,42	2,77	63,70	1,01	375,27	36,81
5,00	60,00	02-sep-14	30-sep-14	536,00	10,94	4,71	17,42	2,81	109,70	1,03	658,59	64,61
6,00	80,00	02-sep-14	30-sep-14	508,00	10,26	4,71	17,42	2,84	50,30	1,01	298,58	29,29
7,00	100,00	02-sep-14	30-sep-14	432,00	8,86	4,71	17,42	2,80	97,80	0,99	566,93	55,61
8,00	120,00	02-sep-14	30-sep-14	436,00	8,90	4,71	17,42	2,81	31,00	0,99	179,82	17,64
9,00	135,00	02-sep-14	30-sep-14	490,00	10,04	4,71	17,42	2,80	53,60	1,01	317,00	31,10
								PROMEDIO GENERAL				38,74

Tabla 9 Resultados Ensayo de Resistencia a la compresión en Núcleos en Roca

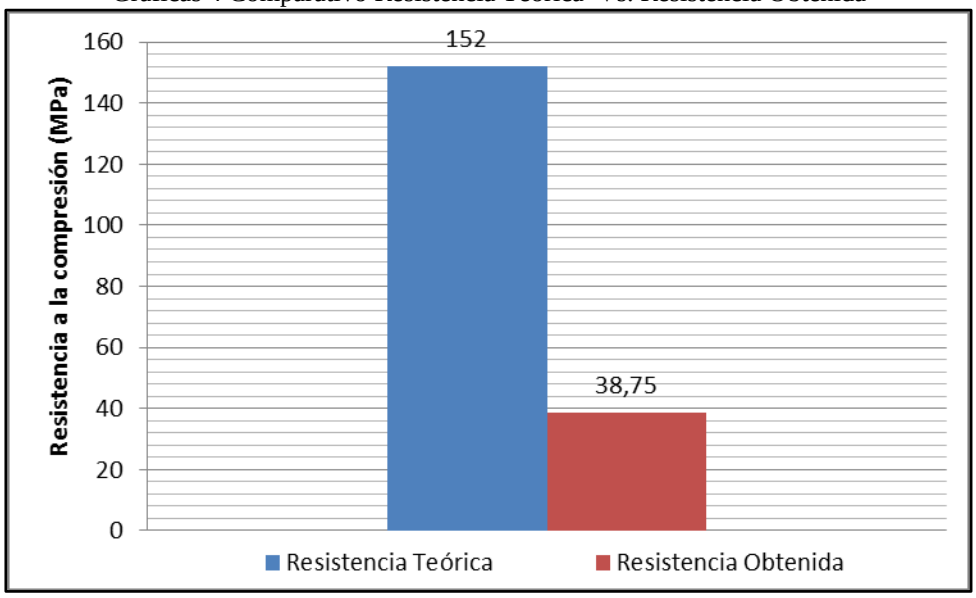
Gráfica 3 Curva Resistencia a la Compresión en Función de la Perforación.



Fuente: Propia

Es importante aclarar que se llegó a la conclusión de que la Muestra N° 1, correspondiente a la profundidad de 0,20 metros, se trataba concreto de nivelación de baja resistencia, el cual fue aplicado sobre el lecho del rio para facilitar las actividades de perforación, por tanto debe desconsiderarse dentro de los parámetros de análisis.

Gráficas 4 Comparativo Resistencia Teórica Vs. Resistencia Obtenida

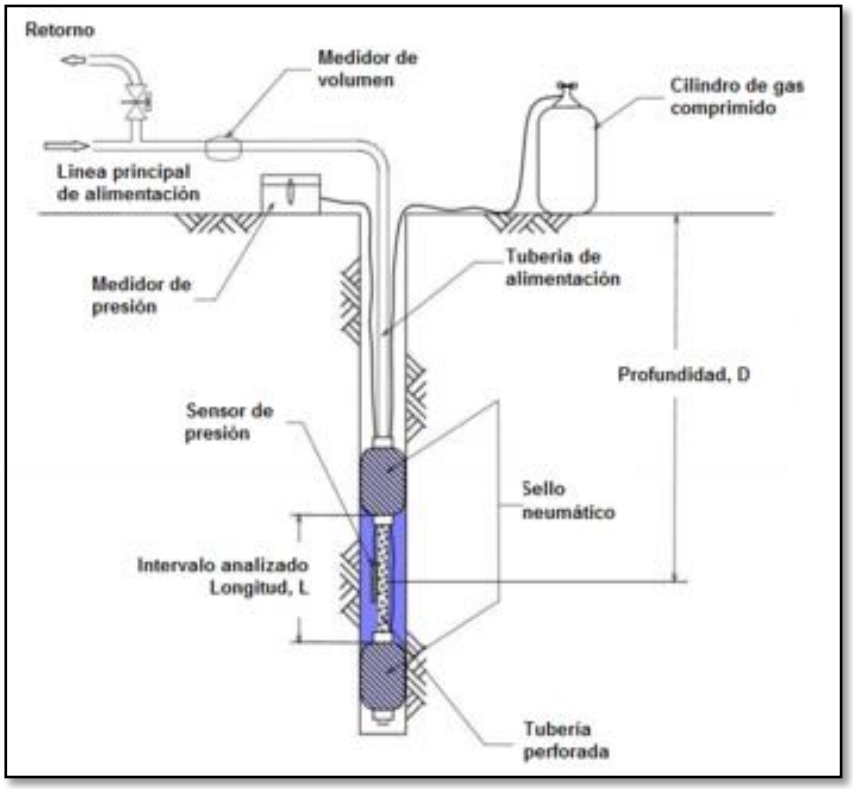


Fuente: Propia

5. ENSAYO DE LUGEON

El ensayo de Lugeon, o ensayo Lugeon, es un ensayo que se hace en el campo para estimar la permeabilidad del suelo. Se aplica principalmente en rocas fracturadas. Consiste en medir el volumen de agua "V" que se consigue inyectar en el suelo durante un tiempo determinado "t", en otras palabras se mide el caudal Q = V/ t, en un tramo de una longitud determinada "L", a una presión constante Ht (Ortiz, 1997).

Gráficas 5 Diagrama de la Ubicación de los Equipos en el Ensayo de Lugeon

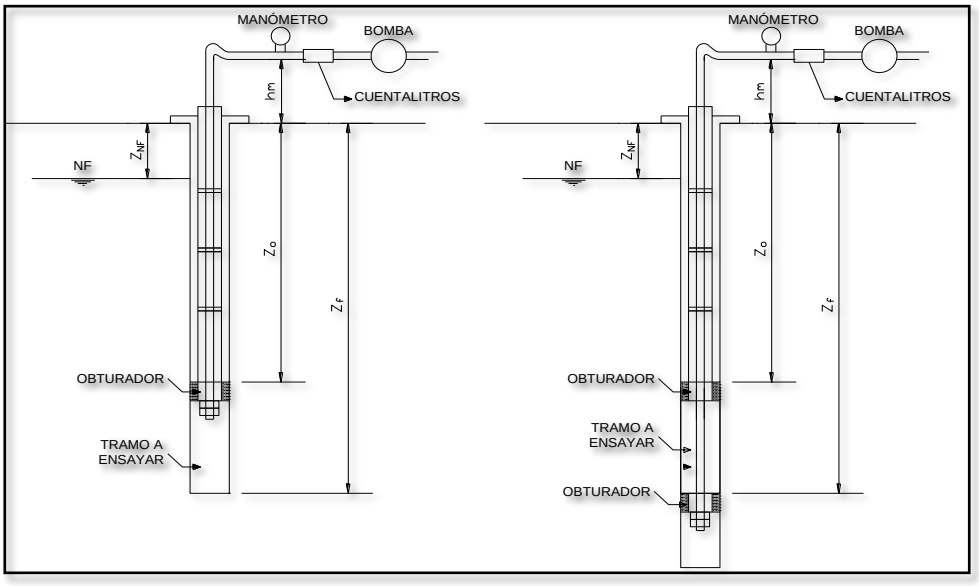


Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_Lugeon

En una perforación se fija un obturador neumático doble en tramos de ensayo de 5 metros; en dichos tramos se inyecta agua a presión con una bomba. En la boca del

barreno se controla la presión con un manómetro o con un sensor de presión , un contador de agua o un sensor de caudal, elementos que permiten medir los caudales inyectados a una presión constante, los sensores mencionados de presión y caudal están conectados al Equipos Para Registro De Parámetros mencionado en el aparte 3.3.

Gráfica 6 Ensayo con Obturador Sencillo y con Obturador Doble



Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango

Las mediciones se efectúan en 5 niveles de presión, en los cuales el agua es inyectada. Antes de empezar, se define la presión máxima (PMax) que va a ser utilizada, esta no debe exceder la presión de confinamiento esperada de la profundidad de la perforación; sobre esta presión máxima se trabaja durante el ensayo para no generar hidrofracturamiento en la roca.

El ensayo consiste en bombear la cantidad de agua que sea necesaria para mantener constante la presión en la zona de ensayo para cada uno de los cinco estados. Cumplido el tiempo establecido de cada uno, la presión es incrementada hasta llegar a la presión

máxima; una vez alcanzada, la presión del agua debe ser reducida pasando por las mismas cinco presiones de los estados anteriores.

Los cinco estados son:

Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Bajo	Medio	Máximo	Medio	**Bajo**
1/4*PMax	**1/2* PMax**	**PMax**	**1/2 * PMax**	**1/4*PMax**

Tabla 10 Estados de la prueba de Lugeon

La permeabilidad se determina con la fórmula:

$$k = \frac{Q}{2 * \pi * L * H_t} * log_e(\frac{L}{r})$$

Donde;

r: es el radio de perforación de la prueba.

Q: es el Caudal o gasto en (Cm^3/ Seg.).

K: coeficiente de permeabilidad (cm/Seg).

L: es la extensión del suelo en la dirección del flujo.

Ht: presión de sobrecarga a la profundidad del ensayo/ peso específico del agua.

El resultado se da en unidades Lugeon (UL).

De acuerdo con la definición de la prueba, cuando no se conoce suficientemente las características geotécnicas del tramo a probar, se puede iniciar la prueba con una presión efectiva de 0.196 MPa. Con incrementos similares hasta llegar a 0.981 MPa.

En caso de detectar que el terreno se deteriora de manera inconveniente con los incrementos de presión, se puede reducir estos a 0.1Mpa; sin embargo, la presión ideal

del ensayo será aquella que simule las condiciones a las cuales estará el terreno una vez el Proyecto entre en operación más un factor de seguridad que esta entre 0.1 0 0.2 Mpa.

A continuación se relacionan los formatos de recolección de datos del ensayo de permeabilidad, ya diligenciados como soporte de la prueba.

5.1. Datos del Ensayo de Lugeón

Los datos de campo recolectados en los formatos deben incluir la localización de la perforación, fecha y hora de ejecución del ensayo, tramo de la prueba, presión manométrica, altura del manómetro, tiempo transcurrido entre las lecturas final e inicial realizadas para cada nivel de presión, la lectura inicial en él cuenta-litros, la lectura registrada en el tiempo (t) después de estabilizada la presión y la profundidad del nivel freático, al inicio y al final de las pruebas. Datos que procesados permiten identificar las condiciones de permeabilidad encontradas del macizo rocoso antes de tratarlo con las inyecciones.

Tabla 11 Ensayo de permeabilidad Tramo 0.00 a 7.50 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1156374,081
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

Fecha

Día	Mes	Año
1	8	2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,50 m

TRAMO A ENSAYAR

de 0,00 m (Zo) hasta 7,50 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

Hora

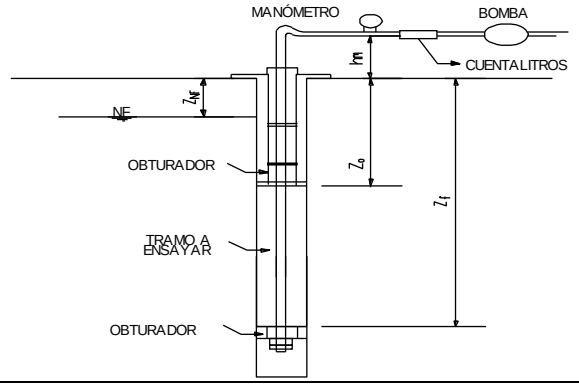
Inicio	Finalización
14:58	15:19

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	49	60	14:58:00 p.m.
2,5	49	101	120	
2,5	101	149	180	
2,5	149	193	240	
2,5	193	243	300	
5	0	44	60	15:04:00 p.m.
5	44	89	120	
5	89	142	180	
5	142	240	240	15:07:00 p.m.

RESURGENCIA EN ESTE TRAMO, SE DA POR TERMINADO YA QUE A LOS 10 MINUTOS LA PRESION NO SUBE

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
		0	
		0	
		0	
		0	

Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: mauricio candiales / andres ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 12 Ensayo de permeabilidad Tramo 7.50 a 15.0m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este:	1.156.374
Coor. Norte:	1.280.899
Cota:	544

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

Fecha		
Día	Mes	Año
1	8	2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0.5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 7.5 m (Zo) hasta 15 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

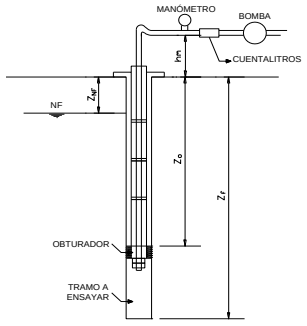
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Hora	
Inicio	Finalización
15:37	16:03

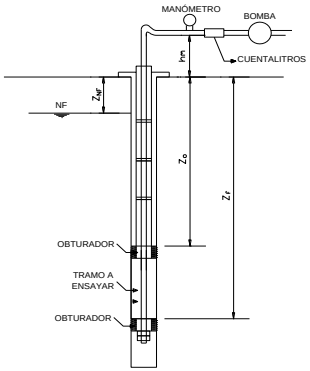
Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
2,5	0	26	60	15:37:00 p.m.			0	
2,5	26	68	120				0	
2,5	68	115	180				0	
2,5	115	161	240				0	
2,5	161	207	300					
5,0	0	42	60	15:42:00 p.m.				
5,0	42	78	120					
5,0	78	114	180					
5,0	114	150	240					
5,0	150	185	300					
2,5	0	31	60					
2,5	31	62	120					
2,5	62	93	180					
2,5	93	151	240	15:50:00 p.m.				

SE REALIZARON 15 MINUTOS Y NO SUBE LA PRESION

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 13 Ensayo de permeabilidad Tramo 15.0 a 22.5m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 15 m (Zo) hasta 22,5 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha		
Día	Mes	Año
1	8	2014

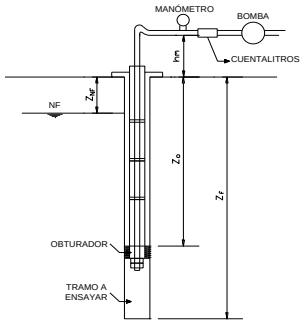
Hora	
Inicio	Finalización
16:16	16:45

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,50	0	45	60	16:16
2,50	45	83	120	
2,50	83	127	180	
2,50	127	172	240	
2,50	172	215	300	
5,00	0	39	60	16:20
5,00	39	83	120	
5,00	83	118	180	
5,00	118	154	240	
5,00	154	188	300	
10,00	0	33	60	16:26
10,00	33	66	120	
10,00	66	100	180	
10,00	100	134	240	
10,00	134	167	300	16:30

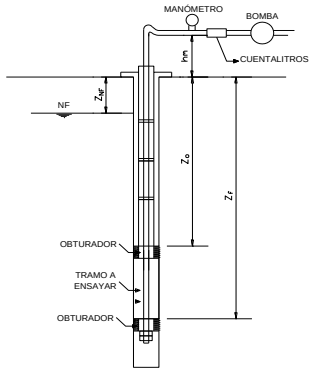
DESPUES DE 15 MINUTOS NO SUBE LA PRESION, AQUI SE DA POR TERMINADO EL TRAMO.

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
		0	60
		0	120
		0	180
		0	240
			300

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 14 Ensayo de permeabilidad Tramo 22.5 a 30.0m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO PORCE III

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

Fecha

Día	Mes	Año
2	8	2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0.5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 22.5 m (Zo) hasta 30 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

Hora

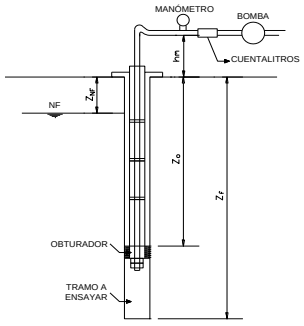
Inicio	Finalización
10:35	11:00

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,50	0	45	60	10:35
2,50	45	98	120	
2,50	98	155	180	
2,50	155	209	240	
2,50	209	261	300	
5,00	0	44	60	10:40
5,00	44	97	120	
5,00	97	152	180	
5,00	152	209	240	
5,00	209	265	300	
10,00	0	59	60	10:45
10,00	59	98	120	
10,00	98	154	180	
10,00	154	209	240	
10,00	209	266	300	10:50

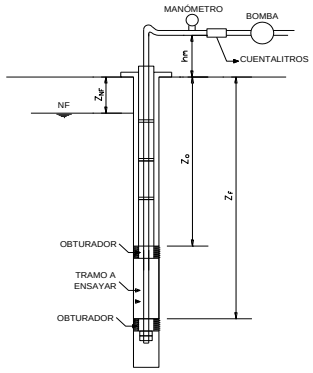
NO SUBE LA PRESION PARA P/2 Y PARA PMAX

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
		0	60
		0	120
		0	180
		0	240
			300

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 15 Ensayo de permeabilidad Tramo 30.0 a 37.5m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

Fecha

Día	Mes	Año
2	8	2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 30 m (Zo) hasta 37,5 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

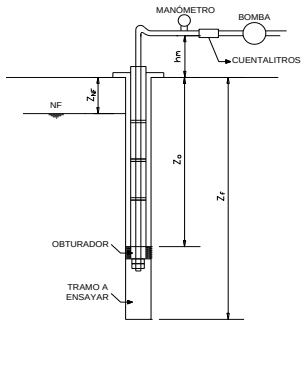
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Hora

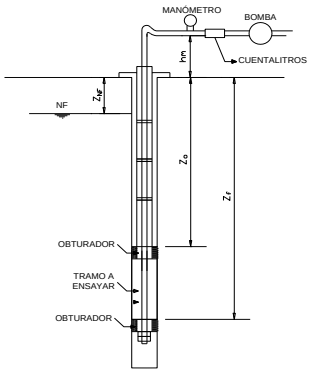
Inicio	Finalización
11:22	11:44

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
2,50	0	51	60	11:22			0	60
2,50	51	102	120				0	120
2,50	102	152	180				0	180
2,50	152	202	240				0	240
2,50	202	255	300					300
5,00	0	62	60	11:28				
5,00	62	126	120					
5,00	126	188	180					
5,00	188	249	240					
5,00	249	313	300					
10,00	0	64	60	11:33				
10,00	64	122	120					
10,00	122	187	180					
10,00	187	245	240					
10,00	245	309	300	11:38				

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 16 Ensayo de permeabilidad Tramo 37.5 a 45.0 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (B): 20 grados

Fecha

Día	Mes	Año
2	8	2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0.5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 37.5 m (Zo) hasta 45 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

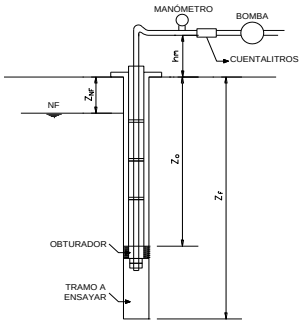
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Hora

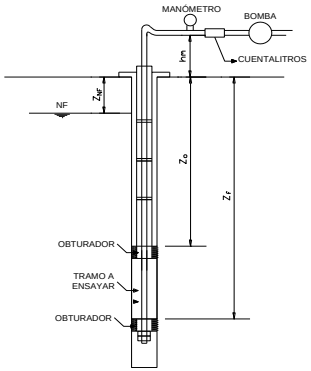
Inicio	Finalización
13:26:00	14:00:00

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
2,5	0	42	60	13:27			0	60
2,5	42	87	120				0	120
2,5	87	138	180				0	180
2,5	138	186	240				0	240
2,5	186	231	300					300
5	0	56	60	13:33				
5	56	117	120					
5	117	172	180					
5	172	231	240					
5	231	283	300					
10	0	59	60	13:39				
10	59	111	120					
10	111	171	180					
10	171	224	240					
10	224	283	300	13:46				

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 17 Ensayo de permeabilidad Tramo 45.0 a 52.5 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 45 m (Zo) hasta 52.5 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0.5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

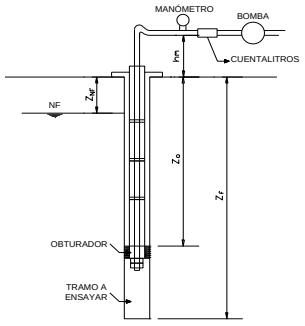
Fecha		
Día	Mes	Año
1	8	2014

Hora	
Inicio	Finalización
14:14	14:47

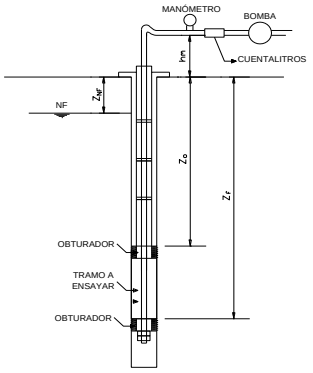
Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,50	0	0	60	14:14
2,50	0	2	120	
2,50	2	4	180	
2,50	4	5	240	
2,50	5	6	300	
5,00	0	21	60	14:20
5,00	21	57	120	
5,00	57	62	180	
5,00	62	62	240	
5,00	62	63	300	
10,00	0	49	60	14:27
10,00	49	97	120	
10,00	97	123	180	
10,00	123	163	240	
10,00	163	196	300	
5,00	0	2	60	14:33
5,00	2	2	120	
5,00	2	15	180	
5,00	15	34	240	
5,00	34	35	300	

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	1	60	14:40
2,5	1	1	120	
2,5	1	1	180	
2,5	1	2	240	
2,5	2	14	300	14:47

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 18 Ensayo de permeabilidad Tramo 52.5 a 60.0 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 52.5 m (Zo) hasta 60 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0.5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

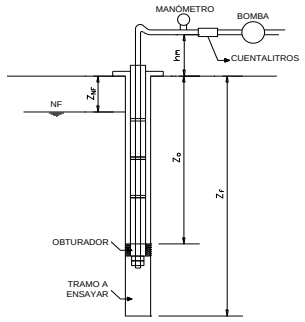
Fecha		
Día	Mes	Año
2	8	2014

Hora	
Inicio	Finalización
16:10	16:48

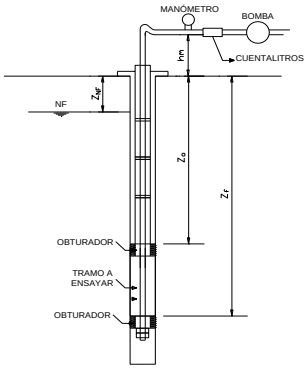
Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	16:10
2,5	0	0	120	
2,5	0	0	180	
2,5	0	10	240	
2,5	10	19	300	
5	0	2	60	16:16
5	2	4	120	
5	4	10	180	
5	10	13	240	
5	13	15	300	
10	0	8	60	16:23
10	8	13	120	
10	13	24	180	
10	24	34	240	
10	34	54	300	
5	0	1	60	16:29
5	1	4	120	
5	4	5	180	
5	5	7	240	
5	7	10	300	

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	2	60	16:41
2,5	2	17	120	
2,5	17	17	180	
2,5	17	59	240	
2,5	59	61	300	

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 19 Ensayo de permeabilidad Tramo 60.0 a 67.5 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 60 m (Zo) hasta 67,5 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

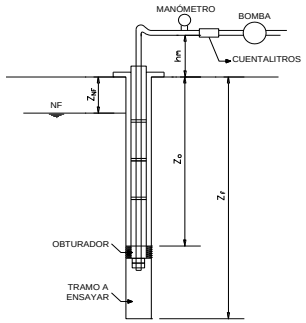
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha		
Día	Mes	Año
3	8	2014

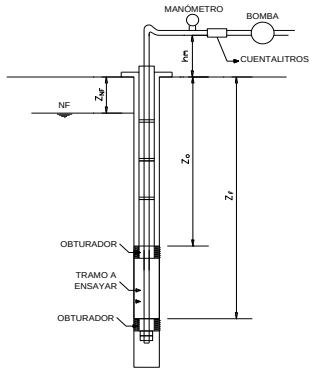
Hora	
Inicio	Finalización
09:00	09:38

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	(09:00)	2,5	0	2	60	(09:32)
2,5	0	0	120		2,5	2	3	120	
2,5	0	6	180		2,5	3	3	180	
2,5	6	7	240		2,5	3	3	240	
2,5	7	15	300		2,5	3	4	300	(09:38)
5	0	2	60	09:06					
5	2	4	120						
5	4	7	180						
5	7	11	240						
5	11	13	300						
10	0	31	60	(09:12)					
10	31	64	120						
10	64	108	180						
10	108	148	240						
10	148	178	300						
5	0	13	60	(09:20)					
5	13	25	120						
5	25	38	180						
5	38	51	240						
5	51	63	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 20 Ensayo de permeabilidad Tramo 67.5 a 75.0 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELECTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 67,5 hasta 75 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha

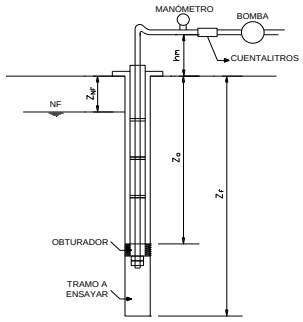
Día	Mes	Año
3	8	2014

Hora

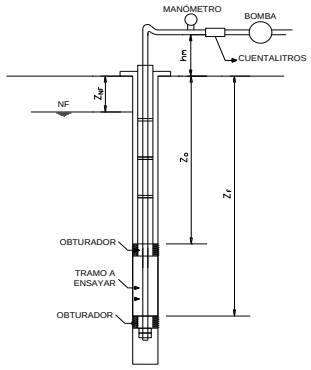
Inicio	Finalización
10:00	10:36

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	10	60	(10:01)	2,5	0	9	60	(10:25)
2,5	10	20	120		2,5	9	18	120	
2,5	20	31	180		2,5	18	27	180	
2,5	31	41	240		2,5	27	36	240	
2,5	41	51	300		2,5	36	45	300	(10:36)
5	0	15	60	(10:07)					
5	15	32	120						
5	32	46	180						
5	46	61	240						
5	61	76	300						
10	0	36	60	(10:13)					
10	36	71	120						
10	71	107	180						
10	107	137	240						
10	137	171	300						
5	0	13	60	(10:19)					
5	13	26	120						
5	26	39	180						
5	39	52	240						
5	52	66	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 21 Ensayo de permeabilidad Tramo 75.0 a 82.5 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este:	1.156.374
Coor. Norte:	1.280.899
Cota:	203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 75 m (Zo) hasta 82,5 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

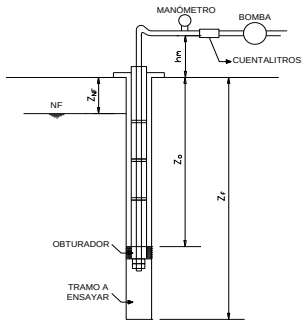
Fecha		
Día	Mes	Año
3	8	2014

Hora	
Inicio	Finalización
11:12	11:46

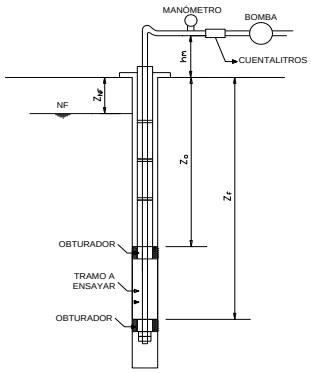
Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	8	60	(11:12)
2,5	8	18	120	
2,5	18	27	180	
2,5	27	38	240	
2,5	38	49	300	
5	0	14	60	(11:18)
5	14	29	120	
5	29	44	180	
5	44	58	240	
5	58	72	300	
10	0	21	60	(11:22)
10	21	43	120	
10	43	64	180	
10	64	83	240	
10	83	105	300	
5	0	13	60	(11:28)
5	13	25	120	
5	25	38	180	
5	38	50	240	
5	0	63	300	

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	7	60	(11:37)
2,5	7	15	120	
2,5	15	23	180	
2,5	23	30	240	
2,5	30	38	300	(11:45)

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 22 Ensayo de permeabilidad Tramo 82.5 a 90.0 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 82,5 m (Zo) hasta 90 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

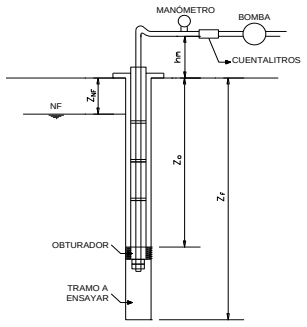
Fecha		
Día	Mes	Año
12	8	2014

Hora	
Inicio	Finalización
13:40	14:11

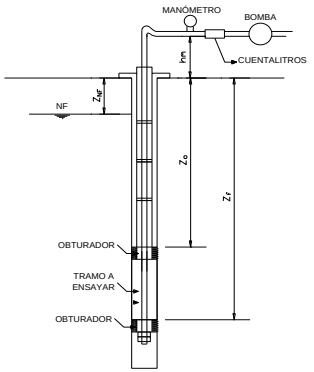
Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	8	60	(13:41)
2,5	8	15	120	
2,5	15	21	180	
2,5	21	28	240	
2,5	28	35	300	
5	0	9	60	(13:48)
5	9	18	120	
5	18	26	180	
5	26	35	240	
5	35	43	300	
10	0	13	60	(13:53)
10	13	25	120	
10	25	37	180	
10	37	49	240	
10	49	62	300	
5	0	6	60	(14:00)
5	6	13	120	
5	13	20	180	
5	20	27	240	
5	27	34	300	

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	4	60	(14:05)
2,5	4	8	120	
2,5	8	12	180	
2,5	12	17	240	
2,5	17	21	300	(14:06)

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 23 Ensayo de permeabilidad Tramo 90.0 a 97.5 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 90 m (Zo) hasta 97,5 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

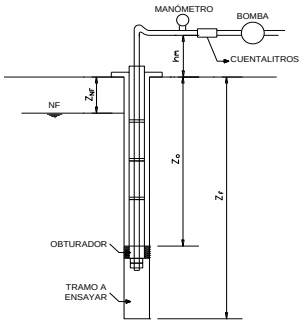
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha		
Día	Mes	Año
3	8	2014

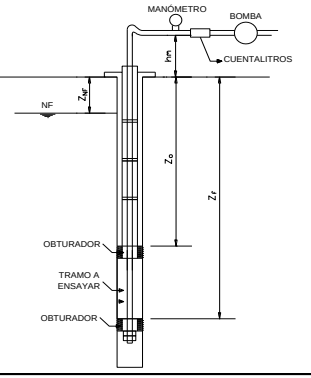
Hora	
Inicio	Finalización
14:32	15:05

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	(14:32)	2,5	0	2	60	(14:54)
2,5	0	0	120		2,5	2	2	120	
2,5	0	0	180		2,5	2	5	180	
2,5	0	0	240		2,5	5	16	240	
2,5	0	0	300		2,5	16	16	300	(15:05)
5	0	0	60	(14:38)					
5	0	0	120						
5	0	0	180						
5	0	1	240						
5	1	3	300						
10	0	0	60	(14:42)					
10	0	0	120						
10	0	1	180						
10	1	2	240						
10	2	3	300						
5	0	1	60	(14:49)					
5	1	1	120						
5	1	2	180						
5	2	2	240						
5	2	19	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 24 Ensayo de permeabilidad Tramo 97.5 a 105.0 m

Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

Fecha

Día	Mes	Año
3	8	2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0.5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 97,5 m (Zo) hasta 105 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

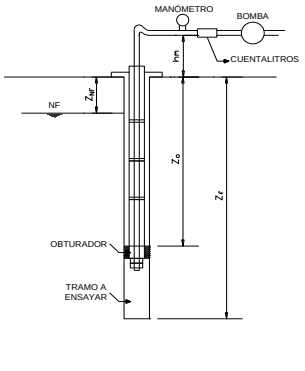
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Hora

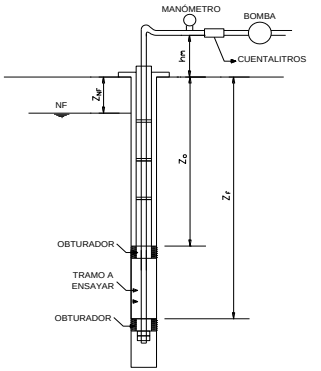
Inicio	Finalización
15:24	15:56

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	(15:24)	2,5	0	8	60	(15:48)
2,5	0	0	120		2,5	8	10	120	
2,5	0	0	180		2,5	10	15	180	
2,5	0	0	240		2,5	15	0	240	15:56
2,5	0	1	300		2,5				
5	0	3	60	(15:30)					
5	3	5	120						
5	5	11	180						
5	11	13	240						
5	13	15	300						
10	0	6	60	(15:36)					
10	6	11	120						
10	11	17	180						
10	17	22	240						
10	22	27	300						
5	0	1	60	(15:42)					
5	1	2	120						
5	2	3	180						
5	3	5	240						
5	5	5	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 25 Ensayo de permeabilidad Tramo 105.0 a 112.5 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 105 m (Zo) hasta 112,5 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

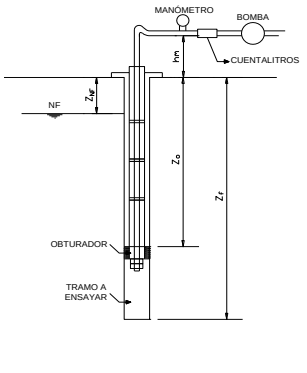
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha		
Día	Mes	Año
12	8	2014

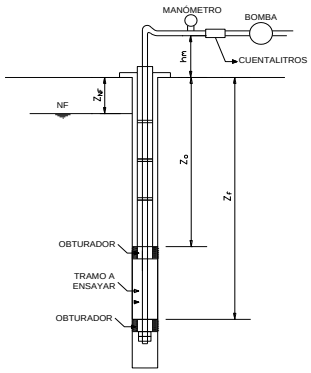
Hora	
Inicio	Finalización
16:24	16:55

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	(16:25)	2,5	0	2	60	(16:49)
2,5	0	0	120		2,5	2	2	120	
2,5	0	0	180		2,5	2	3	180	
2,5	0	0	240		2,5	3	4	240	
2,5	0	0	300		2,5	4	5	300	(16:55)
5	0	0	60	(16:31)					
5	0	2	120						
5	2	2	180						
5	2	3	240						
5	3	13	300						
10	0	0	60	(16:37)					
10	0	0	120						
10	0	1	180						
10	1	1	240						
10	1	1	300						
5	0	0	60	(16:42)					
5	0	1	120						
5	1	2	180						
5	2	3	240						
5	3	5	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 26 Ensayo de permeabilidad Tramo 112.5 a 120.0 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 112,5 m (Zo) hasta 120 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

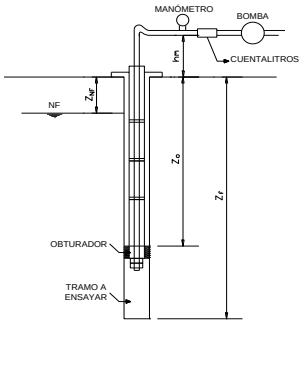
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha		
Día	Mes	Año
4	8	2014

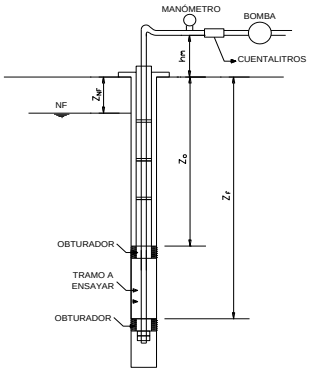
Hora	
Inicio	Finalización
10:13	10:43

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	(10:13)	2,5	0	0	60	(10:36)
2,5	0	0	120		2,5	0	2	120	
2,5	0	1	180		2,5	2	5	180	
2,5	1	1	240		2,5	5	5	240	
2,5	1	1	300		2,5	5	6	300	(10:43)
5	0	3	60	(10:19)					
5	3	6	120						
5	6	9	180						
5	9	13	240						
5	13	16	300						
10	0	7	60	(10:25)					
10	7	14	120						
10	14	20	180						
10	20	27	240						
10	27	35	300						
5	0	1	60	(10:31)					
5	1	1	120						
5	1	1	180						
5	1	1	240						
5	1	1	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 27 Ensayo de permeabilidad Tramo 120.0 a 127.5 m

Mauricio

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

TRAMO A ENSAYAR

de 120 m (Zo) hasta 127,5 m (Zf)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TUBERÍA DEL ENSAYO

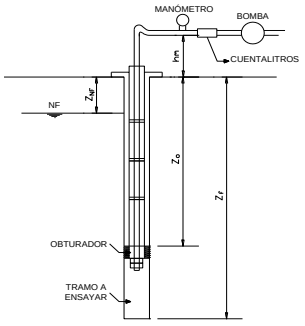
Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha		
Día	Mes	Año
5	8	2014

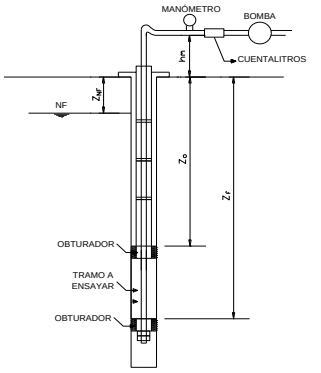
Hora	
Inicio	Finalización
08:38	09:18

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	2	60	(08:39)	2,5	0	5	60	(09:06)
2,5	2	2	120		2,5	5	10	120	
2,5	2	2	180		2,5	10	16	180	
2,5	2	3	240		2,5	16	22	240	
2,5	3	0	300		2,5	22	27	300	(09:15)
5	0	18	60	(08:45)					
5	18	38	120						
5	38	59	180						
5	59	82	240						
5	12	104	300						
10	0	25	60	(08:51)					
10	25	48	120						
10	48	71	180						
10	71	94	240						
10	94	117	300						
5	0	10	60	(08:59)					
5	10	21	120						
5	21	31	180						
5	31	42	240						
5	42	53	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

Tabla 28 Ensayo de permeabilidad Tramo 127.5 a 135.0 m

Consorcio CCC Ituango

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Revisión	01
Fecha	05/09/2008
Identificación:	POR/CAL/RT/0121/08

LOCALIZACIÓN: EJE NUCLEO PRESA

Coor. Este: 1.156.374
Coor. Norte: 1.280.899
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ■ Destructiva □ Diámetro de la perforación: 76 mm Ángulo (β): 20 grados

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Inicio del ensayo: m (Znf_1) Finalizar el ensayo: m (Znf_1)

MANÓMETRO

Altura del manómetro (hm): 0,5 m

TRAMO A ENSAYAR

de 127,5 m (Zo) hasta 135 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO

Diámetro interior de la tubería 19 mm

Fecha

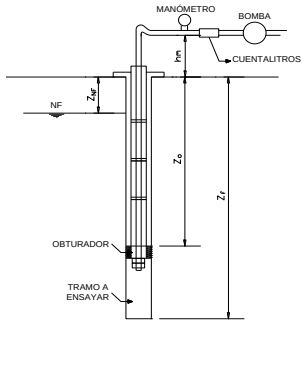
Día	Mes	Año
5	8	2014

Hora

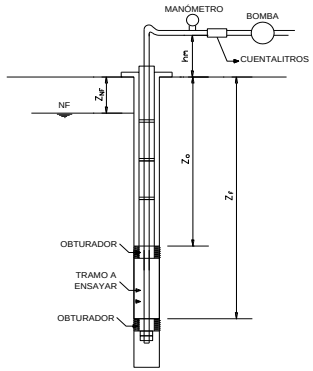
Inicio	Finalización
09:53	10:28

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)		Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)	
2,5	0	0	60	(09:53)	2,5	0	0	60	(10:18)
2,5	0	1	120		2,5	0	1	120	
2,5	1	1	180		2,5	1	2	180	
2,5	1	2	240		2,5	2	2	240	
2,5	2	5	300		2,5	2	3	300	(10:24)
5	0	5	60	(09:59)					
5	5	10	120						
5	10	14	180						
5	14	18	240						
5	18	24	300						
10	0	12	60	(10:06)					
10	12	26	120						
10	26	33	180						
10	33	36	240						
10	36	45	300						
5	0	1	60	(10:12)					
5	1	2	120						
5	2	3	180						
5	3	3	240						
5	3	3	300						

Ensayo con obturador simple



Ensayo con obturador doble



DILIGENCIÓ: Mauricio Candiales / Andres Ganscka

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango.

5.2. Análisis del Ensayo de Lugeón

El objetivo final del ensayo de Lugeon es determinar el grado de fisuramiento del macizo rocoso y con ello determinar su permeabilidad, con la proyección y el análisis de los ensayos de Lugeon, podemos proyectar el tipo de inyección a implementar en el núcleo de la presa, que garantice la baja permeabilidad requerida por diseño.

El análisis de los ensayos realizados mostro que el macizo rocoso presenta zonas con alta permeabilidad la cual varía en función de la profundidad del ensayo. Los ensayos indican que la permeabilidad de la roca es alta en los primeros 45 metros de la perforación, alcanzando valores de permeabilidad entre 25 y 90 UL; la absorción de agua durante el ensayo se obtiene por lectura directa inmediatamente después de haberse alcanzado la estabilización de la presión y del caudal, todas las pruebas tiene como tiempo de evaluación de 10 minutos en cada uno de los tramos. Las pruebas se realizaron en una perforación de 135 metros, desde la cota 203 hasta la 68 dentro del macizo rocoso. Los intervalos de la prueba fueron 7.5 metros arrancando en cero y terminando en 135 metros de profundidad. El consumo o la absorción de agua durante el ensayo fueron monitoreados teniendo especial cuidado con la condición y calidad del agua, logrando que sea siempre limpia, sin restos orgánicos ni elementos sólidos en suspensión. Los ensayos se han realizado con los mayores estándares para tal fin.

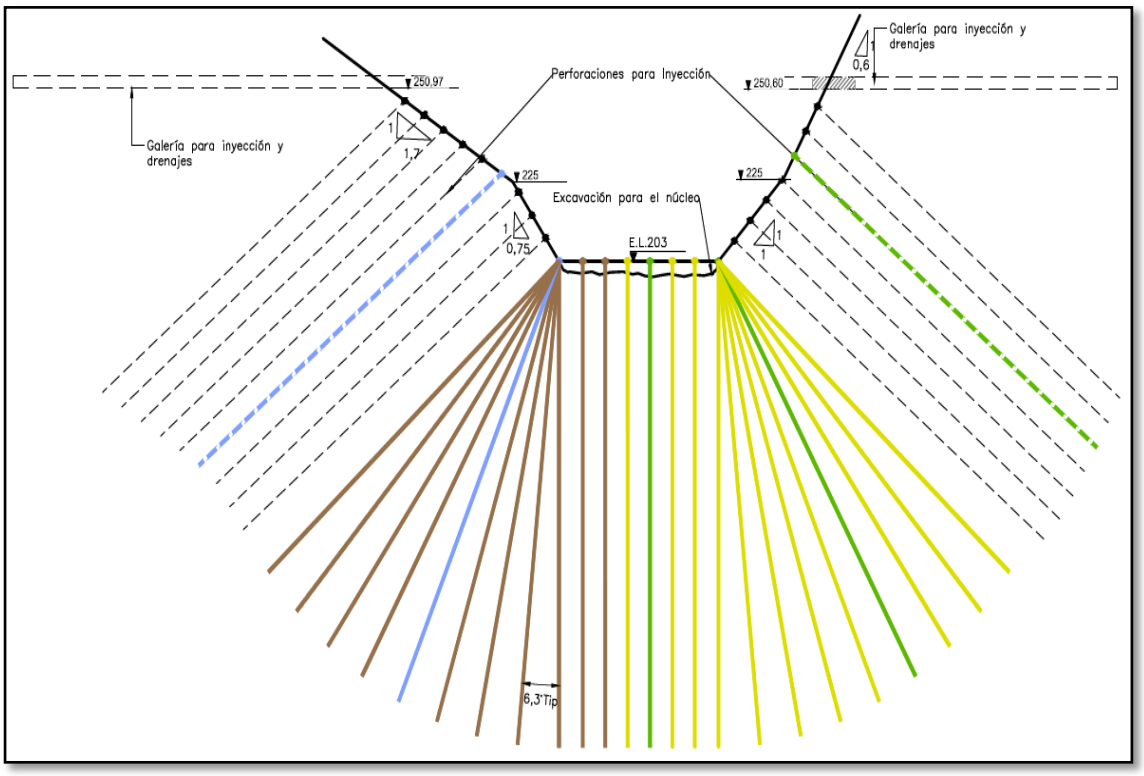
Alcanzada la profundidad de 135 m que se tenía programada para el desarrollo del ensayo, se procedió a lavar con agua limpia el barreno y realizar nuevamente la

medición del nivel freático, para tener una referencia inicial y otra final para correlacionarla con los resultados obtenidos en la prueba de permeabilidad.

Se muestran a continuación las tablas de datos colectados en campo para cada uno de los 18 tramos de la perforación P1DEN, mostrando los litros consumidos en cada uno de los niveles, que mantuvieron la presión del ensayo estable. En los 50 primeros metros de perforación las condiciones de presión máxima no fue alcanzada, esto debido a los sectores de alto fracturamiento encontrados.

6. TRATAMIENTO DE INYECCION DEL NUCLEO DE LA PRESA

Gráfica 7 Disposición Barrenos para Cortina Profunda en Núcleo de la Presa



Fuente: Departamento de Ingeniería Consorcio CCC Ituango

En la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, es prioritario garantizar la estanqueidad del embalse y solucionar los posibles problemas futuros de filtración a través de la fundación de la presa, para lo cual se requiere diseñar la estrategia de inyección de la cortina profunda con el fin de mejorar la permeabilidad del macizo rocoso y así evitar problemas de perdida de agua y tubificacion en la zona de fundación, dicho diseño deberá escogerse en función del ensayo de Lugeon, de las pruebas a compresión obtenidas para los núcleos de la perforación P1DEN y las condiciones establecidas por el diseñador tales como la zona de afectación de la cortina, la resistencia requerida, el grado de permeabilidad requerido del macizo, función de la

obra, su importancia, duración requeridas de la obra; Se debe considerar también las condiciones geológicas, el valor futuro de pérdidas de agua y presiones máximas después de llenado entre otras .

Teniendo como soporte las perforaciones a 135 metros de profundidad dentro del macizo rocoso en el lecho del rio Cauca, se ha podido establecer en función de los estudios de permeabilidad y de resistencia de compresión de las muestras de recobro, tres zonas bien demarcadas para la aplicación de tres diferentes métodos de inyección.

La definición de la cortina de inyección profunda se encontraba preestablecida en los pliegos de condiciones para la licitación del proyecto, pero el método o los métodos de inyección que se implementarían en el macizo rocoso que va a servir como soporte al núcleo de la presa no estaban definidos, es así que como complemento a los estudios geotécnicos, geoestructurales, hidrogeológicos, geofísicos y hidrogeoquimicos en el sitio de la presa con énfasis en su núcleo y los estudios de permeabilidad y compresión de la roca determinaron que los métodos de inyección que se podrían aplicar en el macizo rocosos que afecta el núcleo de la presa en el proyecto Hidroeléctrico Ituango son:

Método de Inyección Gin.

Método de Engrosamiento Sucesivo.

La combinación de estos dos métodos permitirá garantizar que las condiciones de permeabilidad y resistencia del macizo rocoso sean las más apropiadas para la Presa que se pretende construir.

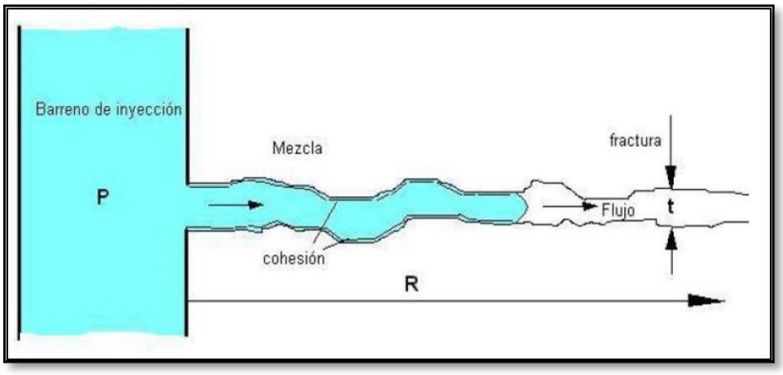
6.2.MÉTODOS DE INYECCIÓN

Los métodos de inyección son los procesos técnicos empleados en la presas para el mejoramiento del macizo rocoso, mediante la introducción de una mezcla acuosa conocida como lechada, y bajo condiciones de presión y caudal regulado, con el objetivo de llenar los espacios vacíos o las discontinuidades presentes en el macizo, mediante esta técnica se puede lograr un mejoramiento sustancial en las características geotécnicas de la zona tratada, con el objetivo principal de reducir su deformidad y disminuir su permeabilidad. Para efectuar este procedimiento de inyección, se realizan perforaciones en el terreno las cuales nos permiten alcanzar la zona a tratar. En cuanto a la mezcla a inyectar, esta se diseña con unas características especiales en función del nivel de fracturas halladas en el macizo rocoso y el índice de permeabilidad que arroja el ensayo de Lugeón, de este modo se puede identificar cual es el grado de fluidez que la lechada requiere para penetrar la zona a tratar.

6.1.1 Tipos de Inyección aplicable al núcleo de la presa

6.1.1.1. Inyección de consolidación

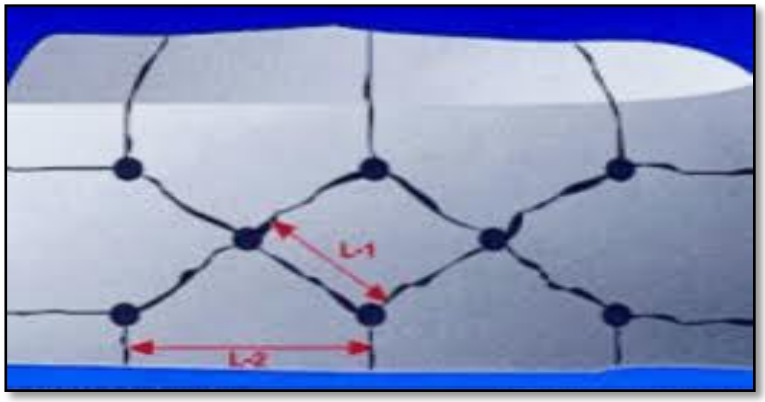
Ilustración 17 Penetración de la Lechada



Fuente: Manual de Ingeniería de taludes

Esta inyección tiene como propósito principal, la de rellenar fisuras presentes en las diaclasas abiertas en la sección superior del macizo rocoso, esta inyección se asocia con los resultados de permeabilidad arrojados por la prueba de Lugeon, las perforaciones para este procedimiento se disponen ubicando una malla de perforación que puede variar dependiendo del grado de fracturación de la zona a consolidar. La disposición de estas áreas respeta las figuras geométricas como triángulos, cuadrados, rectángulos etc. Para nuestro proyecto y en la mayoría de proyectos hidroeléctricos la figura que se emplea es la que se denomina tresbolillo (Joaquin, 2001).Y su disposición es realizar perforaciones en filas paralelas, de modo que las perforaciones de cada fila correspondan al medio de los huecos de la fila inmediata, de tal forma que formen triángulos.

Ilustración 18 Disposición en Tresbolillo

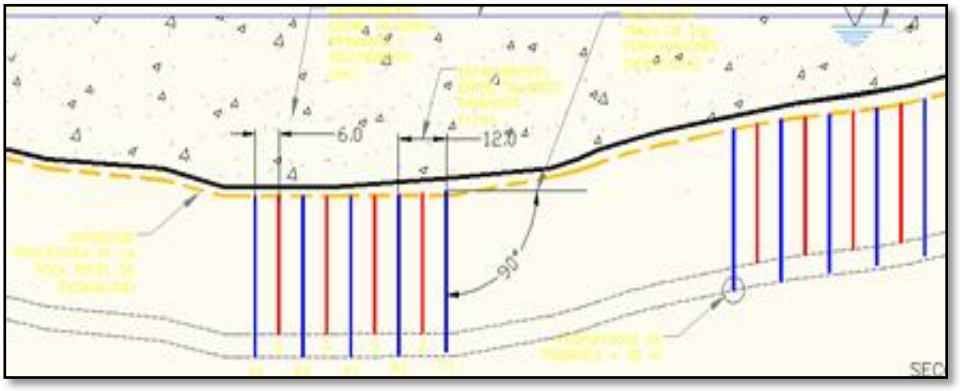


Fuente; Manual de perforación en roca

6.1.1.2. Inyección de Cortina

Es el proceso de perforación e inyección de lechada a alta presión a niveles altos de profundidad en una o varias líneas paralelas, para poder generar pantallas que permitan la impermeabilización del macizo rocoso, con el fin de garantizar primero la permeabilidad y paso seguido mejorar las condiciones mecánicas del sector afectado.

Ilustración 19 Disposición de la Cortina de Inyección Profunda



Fuente: propia

6.1.1.3. Método GIN (Grouting Intensity Number)

El método de inyección GIN se caracteriza por el uso de una lechada única y estable durante todo el proceso de inyección, esta lechada es el resultado de una serie de ensayos de laboratorio para generar la más conveniente en el desarrollo de la obra. La lechada se la adicionan aditivos plastificantes con el objetivo de morar la penetrabilidad en las zonas fisuradas. El método sugiere un monitoreo de presión, flujo volumen inyectado y penetrabilidad.

6.1.1.4. Método Gin Procedimiento

Se emplea única lechada (agua cemento con adición de aditivos) para todas las etapas con lo que se obtiene:

Utilizar una lechada de buena calidad en función (no es una lechada fluida que después del fraguado deja agua exudada en la fisura y conlleva poco tiempo de fraguado) lo cual es una gran ventaja operativa.

Se definen inicialmente dos límites que son:

1. Volumen V (l/m): la lechada penetra fácilmente a baja presión (está asociado a las fisuras anchas).
2. Presión p (bar): la lechada penetra con dificultad (está asociado a las fisuras más finas).

Bajo este límite dependen las características del macizo rocoso y la tabla de presiones que la obra inducirá a la cimentación.

Es aconsejable llegar siempre al doble de la presión que generará la presa.

A veces conduce a riesgos de hidrofracturación.

La energía de inyección es proporcional al producto P×V (bares×l/m) que se denomina GIN.

La limitación por GIN corresponde a fisuras fácilmente inyectables, con grandes volúmenes de admisión a baja presión, y a fisuras finas con admisiones bajas pero a altas presiones.

Se descartan así combinaciones de altas presiones con grandes volúmenes que podrían llevar a grandes fracturas hidráulicas en el macizó rocoso.

7. DISEÑO UNICO MEZCLA DE INYECCION

Se empleara una mezcla típica para todos los tratamientos de consolidación e impermeabilización del macizo rocoso. La mezcla, está constituida con una relación de agua/cemento (A/C) variable de 0.8/1 a 1/1, en peso de cemento, aditivos súper fluidizante y estabilizador es de volumen, ambos dosificados al peso del cemento.

Para casos puntuales, en donde no se registra presión y se alcance rápidamente el volumen máximo, se usan nuevas mezclas de fraguado rápido, compuestas principalmente de agua, cemento, aditivos fluidificantes, silicato de sodio, y/0 morteros. Uno de los parámetros claros que posee el método de Inyección de la cortina profunda es la utilización de una mezcla única, por razones de rendimiento y de costos, la lechada de inyección debe cumplir con los siguientes requisitos;

Coeficiente de filtración: menor o igual a 0.06

Viscosidad en el cono de marsh: 30 – 31 segundos constantes durante una hora.

Decantación: menor del 3% después de 2 horas de mezclado.

Densidad: Debe estar entre 1.55 y 1.65 gr/cm^2

Resistencia a la compresión a 28 días: 10 MPa

Temperatura en los agitadores: 35°C en un lapso de 45 minutos.

Índice de cohesión: menor a 0.03 gr/ cm^2

7.2.Dosificación de la Mezcla

7.2.1. Mezcla Usada para Método de Engrosamiento Sucesivo

PROPORCIONES LECHADAS ENGROSAMIENTO SUCESIVO												
	Cemento Argos Estructural	Sacos 42.5 Kg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo	PESO Kg	1	42,5	85	127,5	170	212,5	255	297,5	340	382,5	425
	AGUA (Lt)	0,65	28	55	83	111	138	166	193	221	249	276
A	EUCON 537 (ml)	7	286	571	857	1143	1429	1714	2000	2286	2571	2857
B		3	143	286	429	571	714	857	1000	1143	1286	1429
C		2	71	143	214	286	357	429	500	571	643	714
D		1	36	71	107	143	179	214	250	286	321	357
E		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AGUA (Lt)	0,6	27	54	80	107	134	161	187	214	241	268
F	EUCON 537 (ml)	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tipo Mezcla IV	A/C	Aditivo (%)	Viscosidad (s)	Cohesión (mm)	Exudación (%)	Peso Unitario (gr/cm3)
"A"	0,65	0,80	31,0	0,107	1,72	1,68
"B"	0,65	0,40	32,0	0,164	1,73	1,68
"C"	0,65	0,20	34,0	0,275	2,00	1,69
"D"	0,65	0,10	36,0	0,352	2,02	1,69
"E"	0,65	0,00	40,0	0,467	1,72	1,69
"F"	0,63	0,00	62,0	0,595	1,15	1,69

Tabla 29 Dosificación lechadas en el método de engrosamiento sucesivo

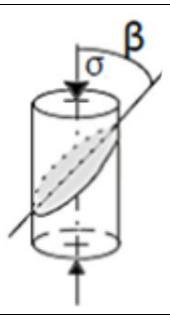
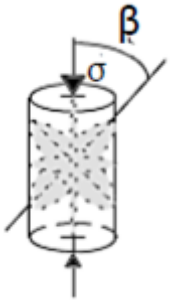
8. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a los núcleos que se extrajeron del macizo rocoso (ver tabla 9), arrojaron que la resistencia promedio es de 38,74 Mpa, lo que representa tan solo un 25,48% de la resistencia mínima esperada para un Gneis la cual se estima entre 152 a 248 Mpa (ver tabla 8). Esta condición está sustentada por los siguientes factores:

La incidencia del efecto escala que se manifiesta claramente en los ensayos realizados, puesto que el valor de la resistencia y otros parámetros analizados en el laboratorio a través de probetas presentaban discontinuidades y fisuramiento previo que en escala de la probeta magnifica la probabilidad de falla; sin embargo, a escalas más grandes, una matriz de roca puede mejorar la condición de resistencia en función del volumen sobre el que actúan las cargas.

Otro parámetro que incidió ampliamente en el valor de las resistencias obtenidas fue la Anisotropía de Resistencia del macizo, pues algunos tipos de rocas como pizarras, lutitas y gneis esquistoso como el encontrado bajo el lecho del rio cauca en la perforación P1DEN, presentan anisotropía resistente y deformacional debido a los múltiples planos de debilidad inherentes a la foliación. Esto se evidencia claramente en la manera como se presentaron las fallas en las distintas probetas (ver ilustración 20), donde varias muestras fallaron con una sola rotura por junta como también varias lo hicieron por rotura de matriz.

Ilustración 20 Tipos de falla de probetas a compresión uniaxial

	
Rotura de la probeta por junta	Rotura de la probeta por matriz

Es claro entonces que también la anisotropía resistente, tiene relación directa con la falla prematura de las muestras debido al ángulo de la foliación de los esquistos, lo que advierte otra situación adversa sobre la baja resistencia a la compresión de la probetas tomadas, pues estas corresponden a perforaciones verticales sobre el lecho rocoso del rio, sin tener en cuenta ninguna otra consideración y no necesariamente atraviesan perpendicularmente los planos de foliación; lo que indica que si las perforaciones conservaran los ángulos correspondientes para cruzar las discontinuidades con un ángulo recto, las resistencias obtenidas no sería afectadas directamente por la anisotropía resistente.

Después correlacionar los resultados de la prueba de permeabilidad del macizo rocoso a través del ensayo Lugeón, con el registro de perforación tomado a la barrenación P1DEN, se puede determinar que en el macizo rocoso a tratar se encuentran dos zonas homogéneas definidas:

Zona 1: Tramo de perforación desde 0 a 45 metros, donde a través del ensayo Lugeón se obtuvieron altos registros de consumo de agua a bajas presiones; es decir, la roca en este tramo posee características de alta permeabilidad, debido a un elevado índice de fracturamiento, el cual también se pudo evidenciar en el bajo porcentaje del RQD obtenido en el tramo mencionado.

Zona 2: Tramo de perforación desde 45 a 135 metros, el cual se caracterizó por bajas tomas de agua usando la presión máxima, lo que indica que el grado de permeabilidad es consistentemente bajo. En este caso los porcentajes de recuperación, así como los índices RQD fueron congruentes con los resultados del ensayo Lugeón

Por lo anterior y teniendo en cuenta que se tratan de condiciones diferenciadas entre las Zonas 1 y 2, se recomienda que para la Zona 1 se aplique el Método de Engrosamiento Sucesivo de Lechada y para la Zona 2, se use el método GIN.

En el siguiente cuadro se sintetizan los parámetros que se tuvieron en cuenta para la definición de la metodología de inyección:

Tabla 30 Síntesis de Parámetros para Definir el Método de Inyección

Característica	**Tramo 1**	**Tramo 2**
Longitud del tramo	0 a 45 metros	45 a 135 metros
Grado de fracturamiento	Alto	Medio – Bajo
Índice de permeabilidad	Alto	Bajo
Método de inyección recomendado	Método de engrosamiento sucesivo de lechada	Método GIN

Fuente: Propia

Es decir, el empleo de los métodos de inyección variará en función de la profundidad donde se aplicará, desde la cota 203 o nivel 0 hasta la cota 158 o primeros 45 metros de profundidad, se aplicara el Método de Engrosamiento Sucesivo, que bajo las condiciones halladas en este Tramo es el método que más ventajas ofrece pues su mejor aplicación es en sectores con presencia de fracturas muy abiertas y de alta intensidad; así mismo el aumento gradual de la viscosidad de la mezcla limita la distancia de penetración y el volumen de lechada, evitando el flujo innecesario de la lechada a distancias considerables que no requieren tratamiento, puesto que basta impermeabilizar el área delimitada.

Para el sector desde la cota 163 hasta la cota 68 es decir los 95 metros restantes se aplicara el Método de Inyección GIN que es aplicable a macizos de roca en los que el fisuramiento es relativamente homogéneo, además, permite el ajuste de los parámetros de inyección de acuerdo al comportamiento que se presente en el proceso logrando un tratamiento uniforme en zonas con características geológicas particulares. Cabe anotar que debido al monitoreo y registro en tiempo real, se tiene el control de la penetrabilidad de la lechada garantizando así que esta llegue a cubrir la zona de impermeabilización requerida por el Proyecto y prevista por el diseñador.

9. BIBLIOGRAFIA

Ayala Carcelo, P. A. (2006). *Manual de Ingenieria de Taludes.* Madrid, España: Instituto Minero y Geologico de España.

Besoain, E. (1985). *Mineralogia de arcillas de suelos.* San Jose, Costa Rica: IICA.

Cambefort, & Cornelius. (2003). *Geotecnia del Ingeniero.* Barcelona: Reverte.

Cornelis Klein, C. S. (2003). *Manual de Minerologia.* Barcelona, españa: Reverte.

Escuela Gologia, U. (2013). *Clasificacion de Macizo Rocoso.* Bucaramanga, Colombia: UIS.

Florez, A. (2003). *Colombia evolucion de sus relieves y modelados.* Bogotá D.C.: Univerisidad Nacional de Colombia.

Granada, U. d. (17 de 1 de 2003). *Propiedades de las Rocas.* Recuperado el 25 de 9 de 2014, de Propiedades de las rocas: http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm

Griem, W. (20 de enero de 2006). *http://www.geovirtual.cl*. Obtenido de http://www.geovirtual.cl/DIQUES/dique20.htm

Herrera, J. (2013). *MODELO DE LÓGICA DIFUSA PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN* . Medellin, Colombia: Universidad Eafit.

J, A. V. (2004). *Geologia de España.* Madríd: sociedad Geologica de España.

Joaquin, D. (2001). *Ingenieria de Presas.* Cantabria, España: Graficas Calima S.A.

Klein, & Hurlbut. (2003). *Manual de Minerealogia.* Barcelona: Reverte S.A.

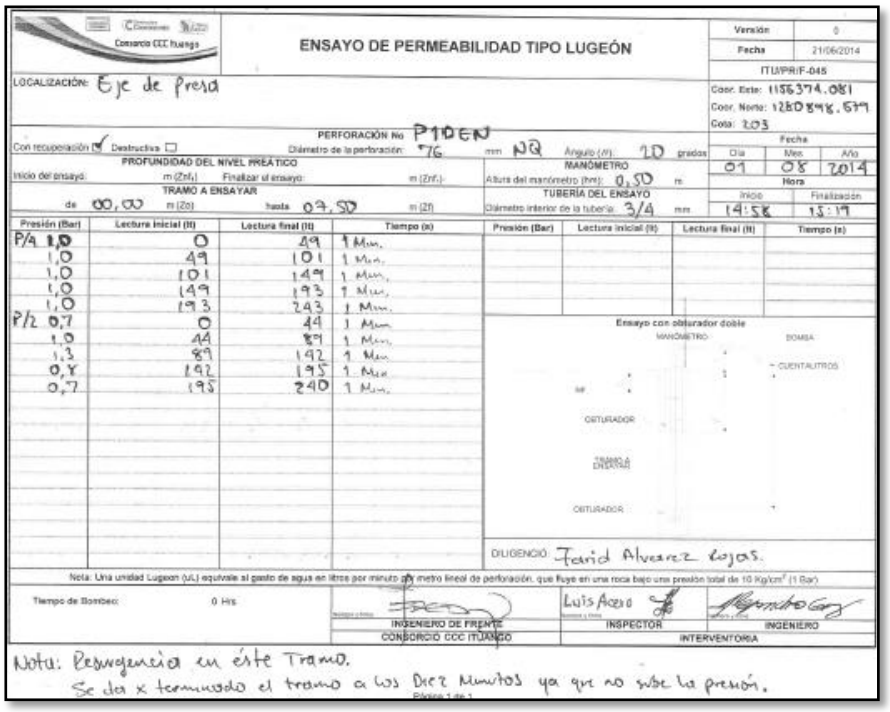
Medina, J. (1991). *Fenómenos geodinámicos.* Lima, Peru: ITGD.

Ortiz, R. (1997). *Glosario Hidrogeologico.* San Luis de Potosi: Universitaria Potosina.

Torroja, E. (2007). *Razón y ser de los tipos estructurales.* Madrid: ediciones Doce Calles.

ANEXOS

Anexo 1 Recolección datos de campo ensayo de Lugeón



ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Consorcio CCC Ituango

Versión: 0 | Fecha: 21/06/2014 | ITU/PR/F-045

LOCALIZACIÓN: Eje de Presa

Coor. Este: 1156374.081
Coor. Norte: 1260898.579
Cota: 203

PERFORACIÓN No: P1DEN | Con recuperación: ☑ Destructiva: ☐ | Diámetro de la perforación: 76 mm NQ | Ángulo (i): 20 grados

Fecha: Día 01 | Mes 08 | Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO: Inicio del ensayo: m (Znf1) | Finalizar el ensayo: m (Znf2)

MANÓMETRO: Altura del manómetro (hm): 0,50 m

TRAMO A ENSAYAR: de 00,00 m (Zo) hasta 09,50 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO: Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Hora: Inicio 14:58 | Finalización 15:19

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 1,0	0	49	1 Min.
1,0	49	101	1 Min.
1,0	101	149	1 Min.
1,0	149	193	1 Min.
1,0	193	243	1 Min.
P/2 0,7	0	44	1 Min
1,0	44	89	1 Min.
1,3	89	192	1 Min
0,8	192	195	1 Min
0,7	195	240	1 Min.

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)

Ensayo con obturador doble

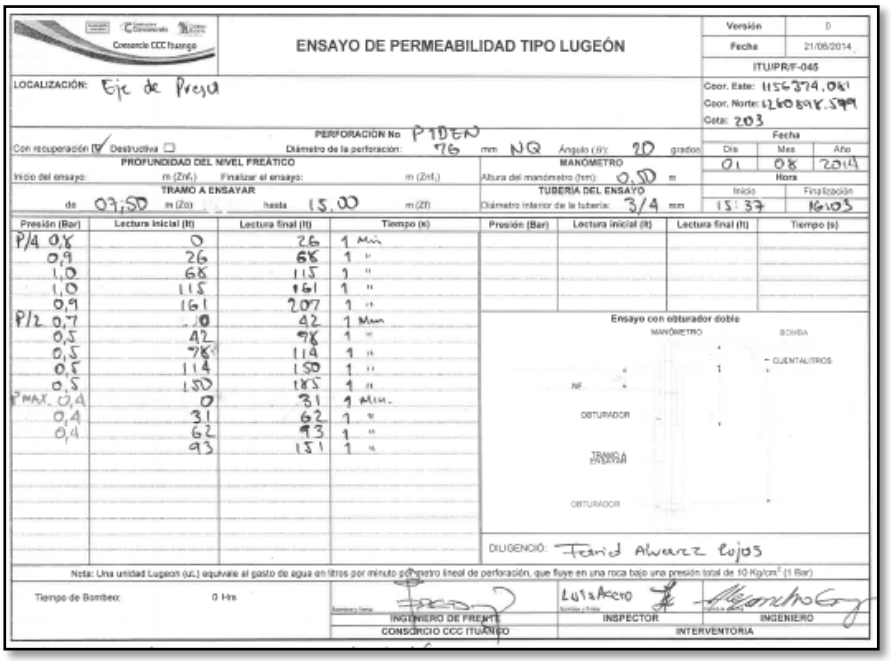
DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas.

Nota: Una unidad Lugeon (UL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO		INTERVENTORÍA

Nota: Resurgencia en éste Tramo.
Se deja x terminado el tramo a los Diez Minutos ya que no sube la presión.



ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Consorcio CCC Ituango

Versión: 0 | Fecha: 21/06/2014 | ITU/PR/F-045

LOCALIZACIÓN: Eje de Presa

Coor. Este: 1156374.081
Coor. Norte: 1260898.579
Cota: 203

PERFORACIÓN No: P1DEN | Con recuperación: ☑ Destructiva: ☐ | Diámetro de la perforación: 76 mm NQ | Ángulo (i): 20 grados

Fecha: Día 01 | Mes 08 | Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO: Inicio del ensayo: m (Znf1) | Finalizar el ensayo: m (Znf2)

MANÓMETRO: Altura del manómetro (hm): 0,50 m

TRAMO A ENSAYAR: de 09,50 m (Zo) hasta 15,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO: Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Hora: Inicio 15:37 | Finalización 16:03

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 0,8	0	26	1 Min
0,9	26	68	1 "
1,0	68	115	1 "
1,0	115	161	1 "
0,9	161	207	1 "
P/2 0,7	10	42	1 Min
0,5	42	78	1 "
0,5	78	114	1 "
0,5	114	150	1 "
0,5	150	185	1 "
P MAX. 0,4	0	31	1 Min.
0,4	31	62	1 "
0,4	62	93	1 "
	93	131	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)

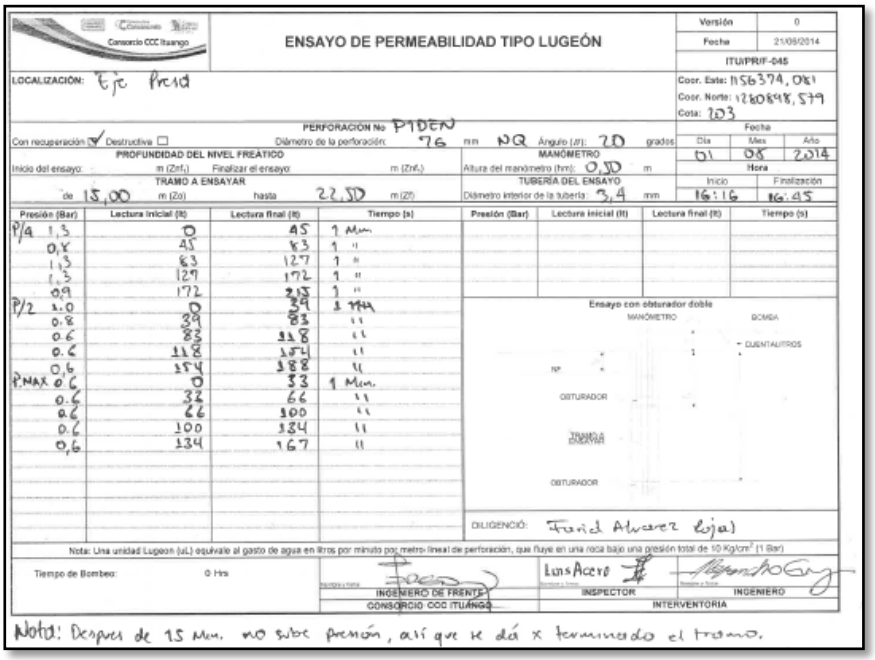
Ensayo con obturador doble

DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO		INTERVENTORÍA



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/08/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje Presa

Coor. Este: 1156379,081
Coor. Norte: 1280698,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (Δ): 20 grados

Fecha: Día 01 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf1) Finalizar el ensayo: m (Znf2)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

TRAMO A ENSAYAR
de 15,00 m (Zo) hasta 22,50 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3,4 mm

Hora: Inicio 16:16 Finalización 16:45

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/a 1,5	0	45	1 Min.
0,8	45	83	1 "
1,3	83	127	1 "
1,3	127	172	1 "
0,9	172	215	1 "
P/2 1,0	0	39	1 Min.
0,8	39	83	"
0,6	83	118	"
0,6	118	154	"
0,6	154	188	"
P.MAX 0,6	0	33	1 Min.
0,6	33	66	"
0,6	66	100	"
0,6	100	134	"
0,6	134	167	"

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)

Ensayo con obturador doble

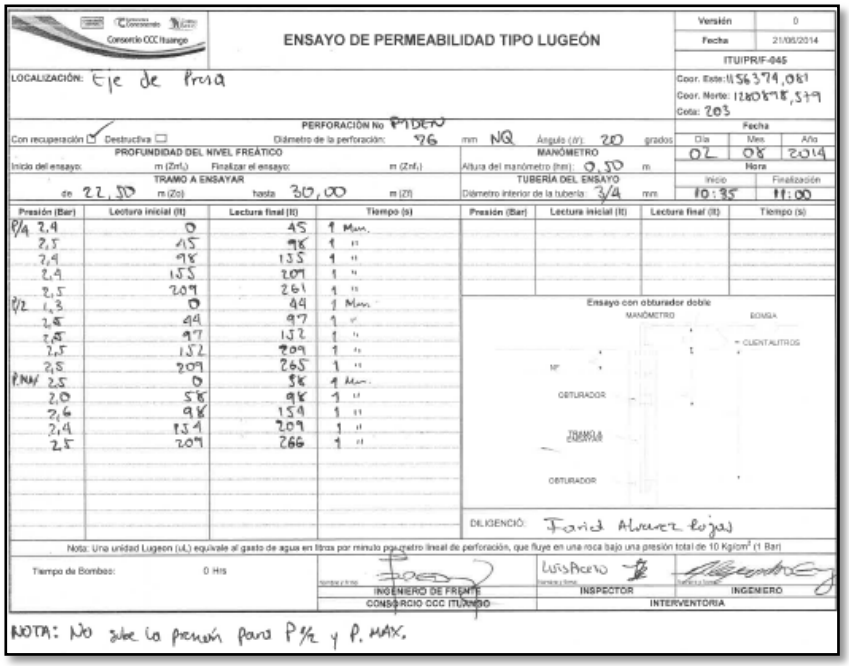
DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO	INTERVENTORIA	

Nota: Después de 15 Min. no sube presión, así que se dá x terminado el tramo.



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/08/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de Presa

Coor. Este: 1156379,081
Coor. Norte: 1280698,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (Δ): 20 grados

Fecha: Día 02 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf1) Finalizar el ensayo: m (Znf2)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

TRAMO A ENSAYAR
de 22,50 m (Zo) hasta 30,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Hora: Inicio 10:35 Finalización 11:00

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/a 2,9	0	45	1 Min.
2,5	45	98	1 "
2,9	98	135	1 "
2,9	135	209	1 "
2,5	209	261	1 "
P/2 1,3	0	49	1 Min.
2,5	49	97	1 "
2,5	97	132	1 "
2,5	132	209	1 "
2,5	209	265	1 "
P.MAX 2,5	0	58	1 Min.
2,0	58	98	1 "
2,6	98	154	1 "
2,9	154	209	1 "
2,5	209	266	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)

Ensayo con obturador doble

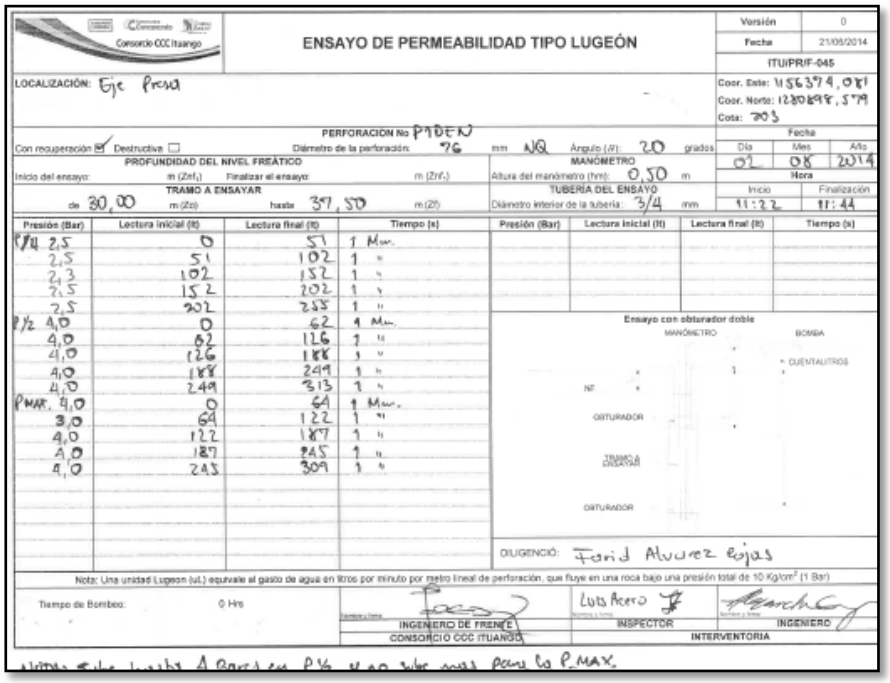
DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO	INTERVENTORIA	

NOTA: No sube la presión para P/2 y P. MAX.



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/05/2014
	ITU/PR/F-045

LOCALIZACIÓN: Eje Presa

Coor. Este: 1156374,081
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (#): 20 grados

Fecha: Día 02 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf$_i$) Finalizar el ensayo: m (Znf$_f$)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

TRAMO A ENSAYAR
de 30,00 m (Zo) hasta 37,50 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Hora: Inicio 11:22 Finalización 11:44

Presión (Bar)	Lectura inicial (ft)	Lectura final (ft)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	51	1 Min.
2,5	51	102	1 "
2,5	102	152	1 "
2,5	152	202	1 "
2,5	202	255	1 "
P/2 4,0	0	62	1 Min.
4,0	62	126	1 "
4,0	126	188	1 "
4,0	188	249	1 "
4,0	249	313	1 "
PMAX. 4,0	0	64	1 Min.
3,0	64	122	1 "
4,0	122	187	1 "
4,0	187	245	1 "
4,0	245	309	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (ft)	Lectura final (ft)	Tiempo (s)

Ensayo con obturador doble

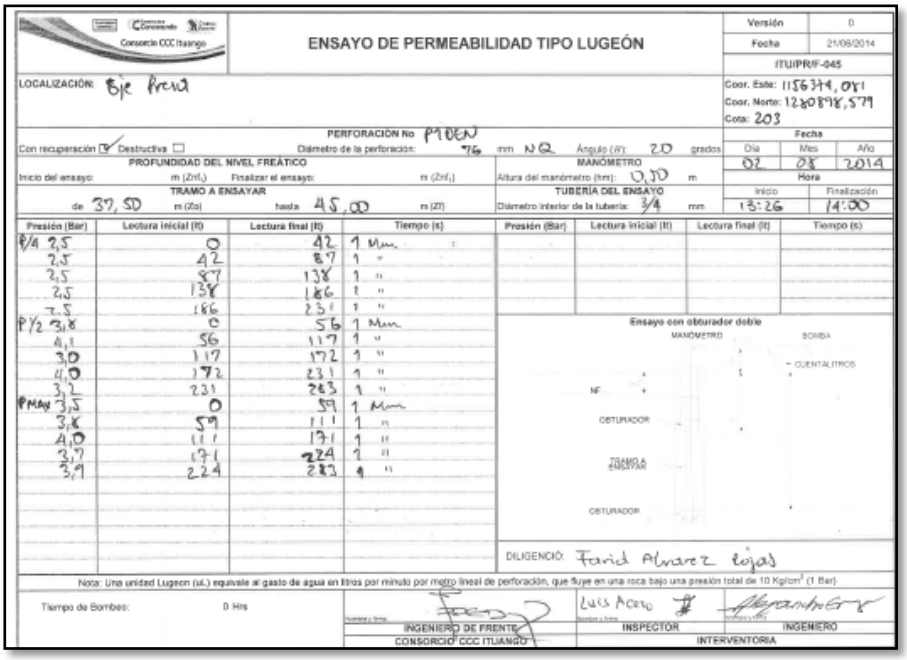
DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (ul.) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm^2 (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO	INTERVENTORIA	

Nota: Subo hasta 4 Bares en P½ y 4,0 3/4 para la P_MAX.



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/05/2014
	ITU/PR/F-045

LOCALIZACIÓN: Eje Presa

Coor. Este: 1156374,081
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (#): 20 grados

Fecha: Día 02 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf$_i$) Finalizar el ensayo: m (Znf$_f$)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

TRAMO A ENSAYAR
de 37,50 m (Zo) hasta 45,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Hora: Inicio 13:26 Finalización 14:00

Presión (Bar)	Lectura inicial (ft)	Lectura final (ft)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	42	1 Min.
2,5	42	87	1 "
2,5	87	138	1 "
2,5	138	186	1 "
2,5	186	231	1 "
P/2 3,8	0	56	1 Min.
4,1	56	117	1 "
3,0	117	172	1 "
4,0	172	231	1 "
3,2	231	283	1 "
PMAX 3,5	0	59	1 Min.
3,6	59	111	1 "
4,0	111	171	1 "
3,7	171	224	1 "
3,9	224	283	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (ft)	Lectura final (ft)	Tiempo (s)

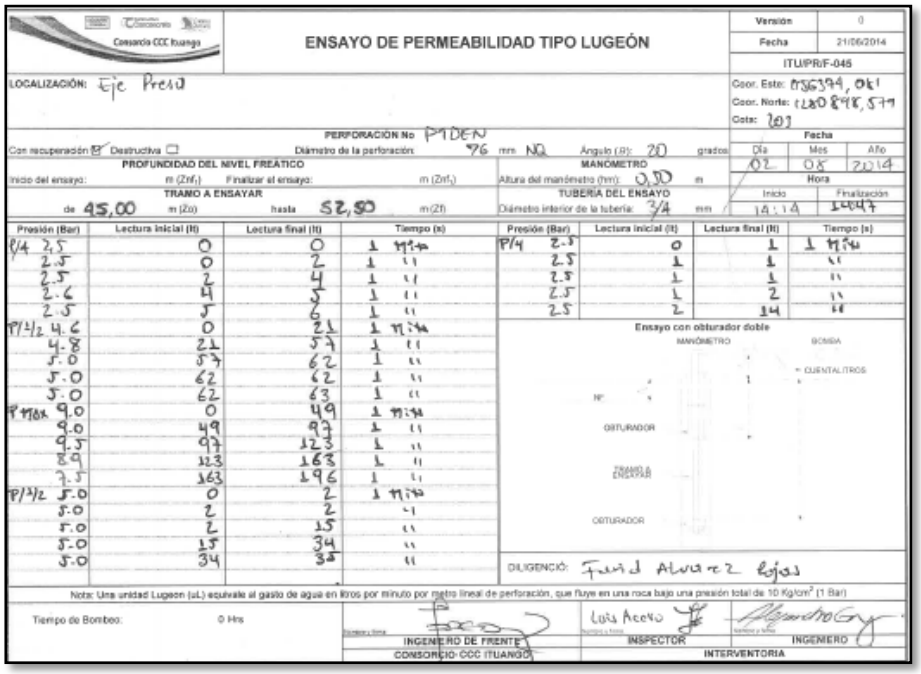
Ensayo con obturador doble

DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (ul.) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm^2 (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO	INTERVENTORIA	



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/06/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje Presa

Coor. Este: 1156394,061
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación [X] Destructiva [ ] Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Angulo (β): 20 grados

Fecha: Día 02 Mes 05 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf1) Finalizar el ensayo: m (Znf2)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

Hora: Inicio 14:14 Finalización 14:47

TRAMO A ENSAYAR
de 45,00 m (Zo) hasta 52,50 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	0	1 M:14
2,5	0	2	1 "
2,5	2	4	1 "
2,6	4	5	1 "
2,5	5	6	1 "
P/1/2 4,6	0	21	1 M:14
4,8	21	57	1 "
5,0	57	62	1 "
5,0	62	62	1 "
5,0	62	63	1 "
P máx 9,0	0	49	1 M:14
9,0	49	97	1 "
9,5	97	123	1 "
8,9	123	163	1 "
7,5	163	196	1 "
P/1/2 5,0	0	2	1 M:14
5,0	2	2	"
5,0	2	15	"
5,0	15	34	"
5,0	34	35	"

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	1	1 M:14
2,5	1	1	"
2,5	1	1	"
2,5	1	2	"
2,5	2	14	"

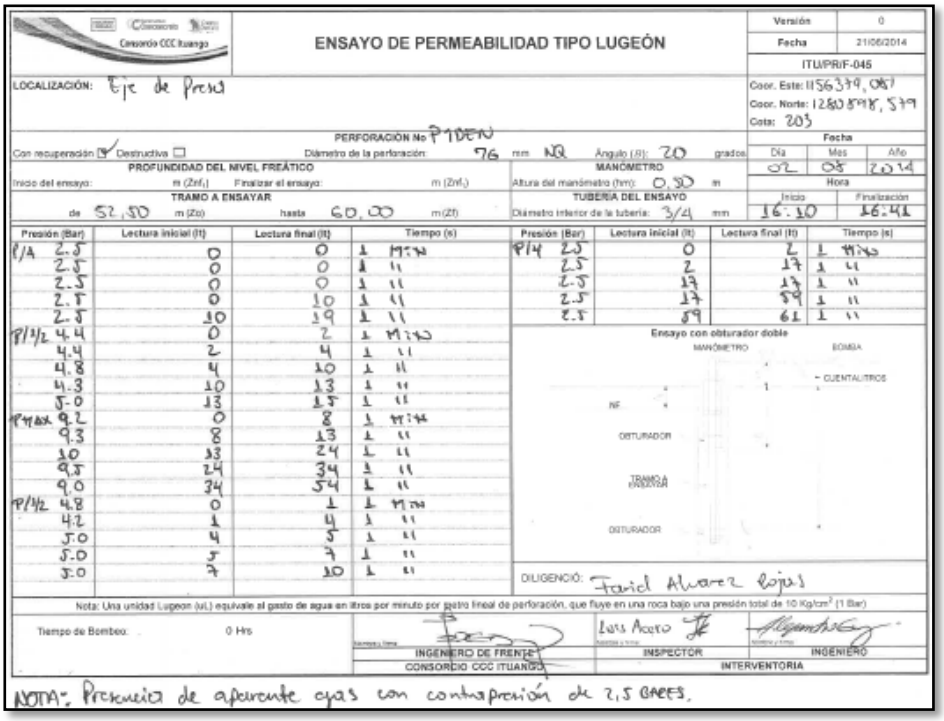
Ensayo con obturador doble

DILIGENCIÓ: Franci Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO	INTERVENTORIA	



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/06/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de Presa

Coor. Este: 1156394,061
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación [X] Destructiva [ ] Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Angulo (β): 20 grados

Fecha: Día 02 Mes 05 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf1) Finalizar el ensayo: m (Znf2)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

Hora: Inicio 16:10 Finalización 16:41

TRAMO A ENSAYAR
de 52,50 m (Zo) hasta 60,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	0	1 M:14
2,5	0	0	1 "
2,5	0	0	1 "
2,5	0	10	1 "
2,5	10	19	1 "
P/1/2 4,4	0	2	1 M:14
4,4	2	4	1 "
4,8	4	10	1 "
4,3	10	13	1 "
5,0	13	15	1 "
P máx 9,2	0	8	1 M:14
9,3	8	13	1 "
10	13	24	1 "
9,5	24	34	1 "
9,0	34	54	1 "
P/1/2 4,8	0	1	1 M:14
4,2	1	4	1 "
5,0	4	5	1 "
5,0	5	7	1 "
5,0	7	10	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	2	1 M:14
2,5	2	17	1 "
2,5	17	17	1 "
2,5	17	59	1 "
2,5	59	61	1 "

Ensayo con obturador doble

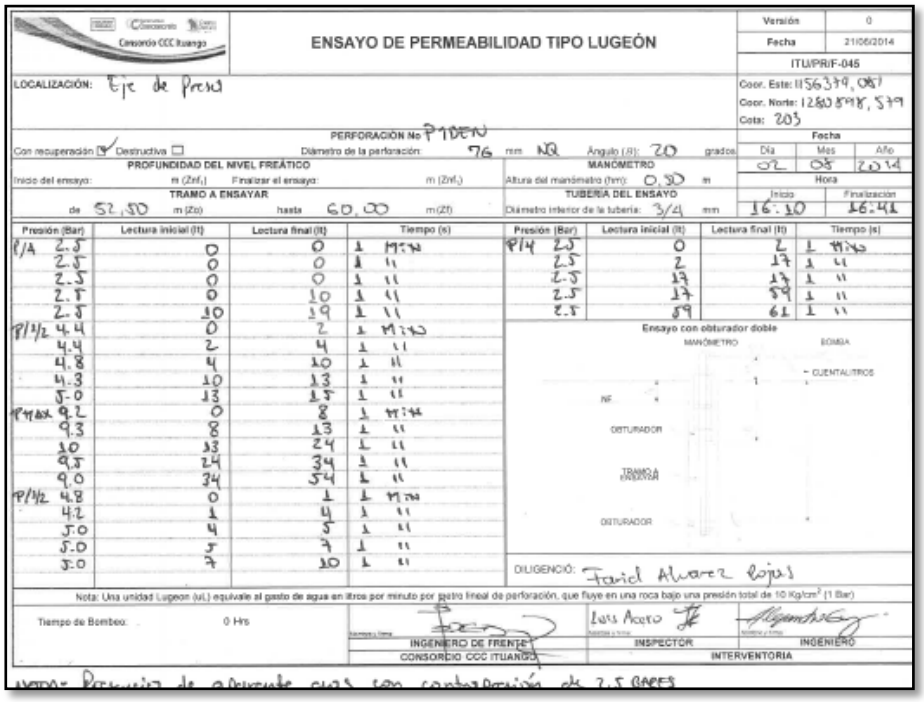
DILIGENCIÓ: Franci Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO	INTERVENTORIA	

NOTA: Presencia de aforante agua con contrapresión de 2,5 BARES.



ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Consorcio CCC Ituango

Versión	0
Fecha	21/06/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de Presa

Coor. Este: 1156379,081
Coor. Norte: 1260898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (θ): 20 grados

Fecha: Día 02 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf$_i$) Finalizar el ensayo: m (Znf$_f$)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

Hora: Inicio 16:10 Finalización 16:46

TRAMO A ENSAYAR
de 52,50 m (Zo) hasta 60,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	1	1 Min
2,5	0	1	1 "
2,5	0	1	1 "
2,5	0	10	1 "
2,5	10	19	1 "
P/2 4,4	0	2	1 Min
4,4	2	4	1 "
4,8	4	10	1 "
4,3	10	13	1 "
5,0	13	15	1 "
PMAX 9,2	0	8	1 Min
9,3	8	13	1 "
10	13	24	1 "
9,5	24	34	1 "
9,0	34	54	1 "
P/2 4,8	0	1	1 Min
4,2	1	4	1 "
5,0	4	5	1 "
5,0	5	7	1 "
5,0	7	10	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	2	1 Min
2,5	2	17	1 "
2,5	17	17	1 "
2,5	17	59	1 "
2,5	59	61	1 "

Ensayo con obturador doble

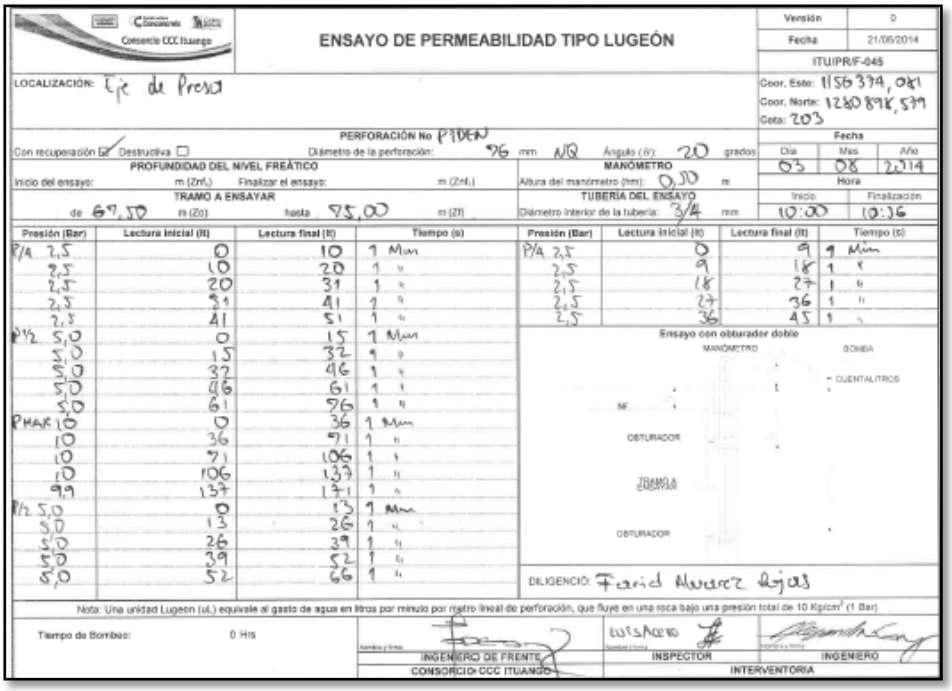
DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm^2 (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO		INTERVENTORIA

NOTA: Presencia de aguas con contaminación de 2,5 BARES



ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Consorcio CCC Ituango

Versión	0
Fecha	21/06/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de Presa

Coor. Este: 1156379,081
Coor. Norte: 1260898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P1DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (θ): 20 grados

Fecha: Día 05 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf$_i$) Finalizar el ensayo: m (Znf$_f$)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,30 m

Hora: Inicio 10:00 Finalización 10:36

TRAMO A ENSAYAR
de 67,50 m (Zo) hasta 75,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	10	1 Min
2,5	10	20	1 "
2,5	20	31	1 "
2,5	31	41	1 "
2,5	41	51	1 "
P/2 5,0	0	15	1 Min
5,0	15	32	1 "
5,0	32	46	1 "
5,0	46	61	1 "
5,0	61	76	1 "
PMAX 10	0	36	1 Min
10	36	71	1 "
10	71	106	1 "
10	106	137	1 "
9,9	137	171	1 "
P/2 5,0	0	13	1 Min
5,0	13	26	1 "
5,0	26	39	1 "
5,0	39	52	1 "
5,0	52	66	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	9	1 Min
2,5	9	18	1 "
2,5	18	27	1 "
2,5	27	36	1 "
2,5	36	45	1 "

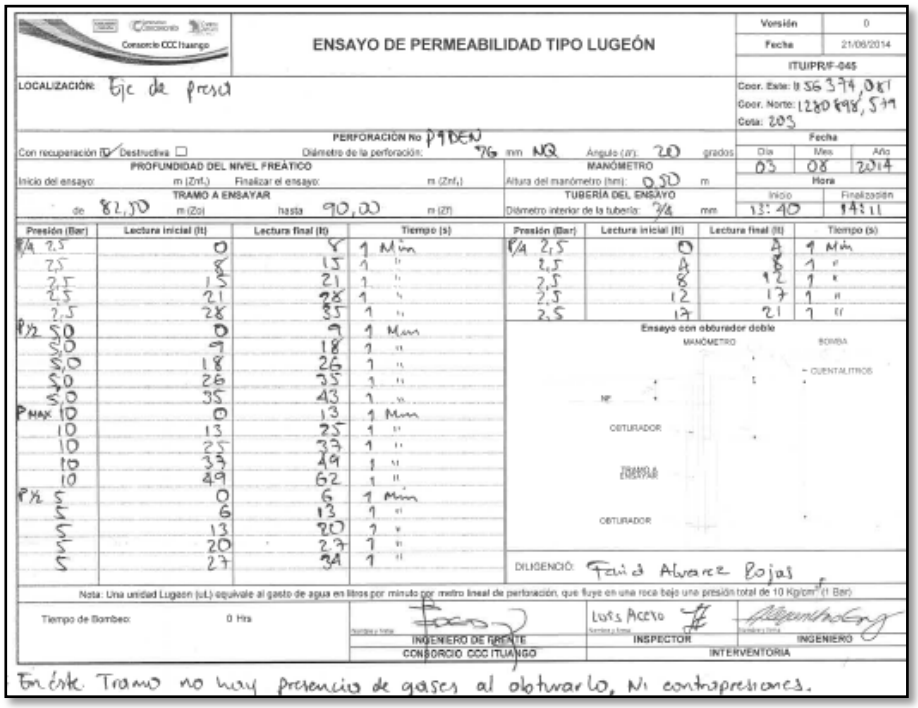
Ensayo con obturador doble

DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm^2 (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE	INSPECTOR	INGENIERO
CONSORCIO CCC ITUANGO		INTERVENTORIA



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/08/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de presa

Coor. Este: 1156394,081
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P7DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (#): 20 grados

Fecha: Día 05 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf$_i$) Finalizar el ensayo: m (Znf$_f$)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,50 m

Hora: Inicio 13:40 Finalización 14:11

TRAMO A ENSAYAR
de 82,00 m (Zoi) hasta 90,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/A 2,5	0	8	1 Min
2,5	8	15	1 "
2,5	15	21	1 "
2,5	21	28	1 "
2,5	28	35	1 "
P/2 5,0	0	9	1 Min
5,0	9	18	1 "
5,0	18	26	1 "
5,0	26	35	1 "
5,0	35	43	1 "
P MAX 10	0	13	1 Min
10	13	25	1 "
10	25	37	1 "
10	37	49	1 "
10	49	62	1 "
P/2 5	0	6	1 Min
5	6	13	1 "
5	13	20	1 "
5	20	27	1 "
5	27	34	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/A 2,5	0	4	1 Min
2,5	4	8	1 "
2,5	8	12	1 "
2,5	12	17	1 "
2,5	17	21	1 "

Ensayo con obturador doble

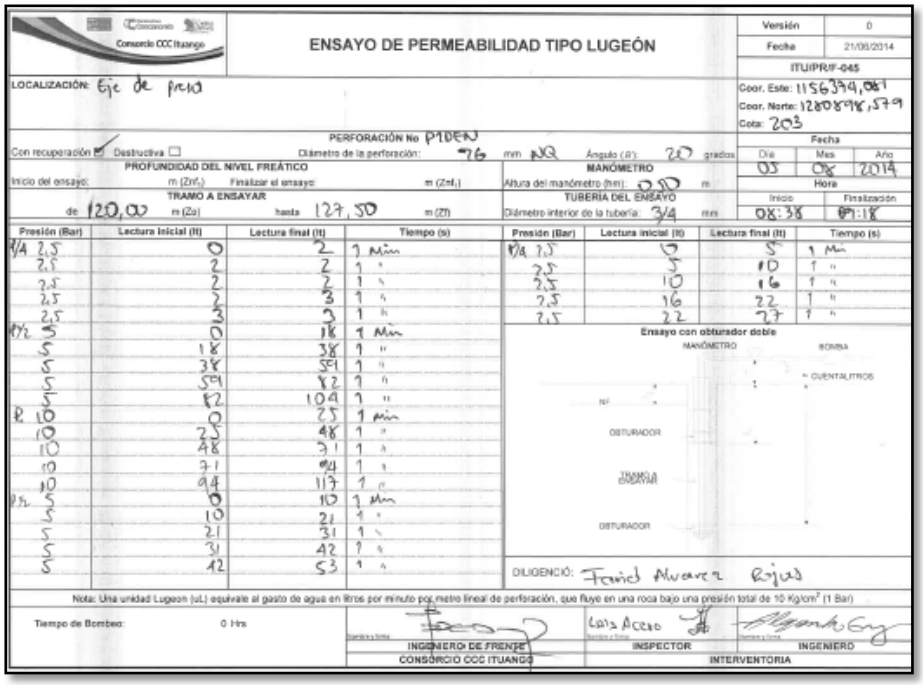
DILIGENCIÓ: Fenid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm^2 (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

Nombre y firma	Nombre y firma	Nombre y firma
INGENIERO DE FRENTE CONSORCIO CCC ITUANGO	INSPECTOR	INGENIERO INTERVENTORIA

En éste Tramo no hay presencia de gases al obturarlo, Ni contrapresiones.



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/08/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de presa

Coor. Este: 1156394,081
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No P7DEN

Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (#): 20 grados

Fecha: Día 05 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf$_i$) Finalizar el ensayo: m (Znf$_f$)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,50 m

Hora: Inicio 08:38 Finalización 09:18

TRAMO A ENSAYAR
de 120,00 m (Zo) hasta 127,50 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/A 2,5	0	2	1 Min
2,5	2	2	1 "
2,5	2	2	1 "
2,5	2	3	1 "
2,5	3	3	1 "
P/2 5	0	18	1 Min
5	18	38	1 "
5	38	59	1 "
5	59	82	1 "
5	82	104	1 "
P 10	0	23	1 Min
10	23	48	1 "
10	48	71	1 "
10	71	94	1 "
10	94	117	1 "
P/2 5	0	10	1 Min
5	10	21	1 "
5	21	31	1 "
5	31	42	1 "
5	42	53	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/A 2,5	0	5	1 Min
2,5	5	10	1 "
2,5	10	16	1 "
2,5	16	22	1 "
2,5	22	27	1 "

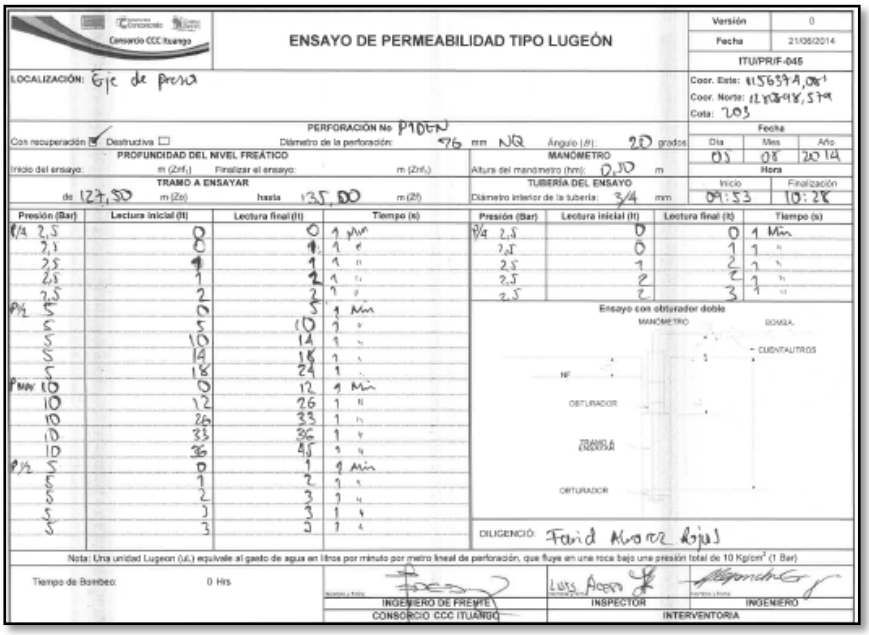
Ensayo con obturador doble

DILIGENCIÓ: Fenid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm^2 (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

Nombre y firma	Nombre y firma	Nombre y firma
INGENIERO DE FRENTE CONSORCIO CCC ITUANGO	INSPECTOR	INGENIERO INTERVENTORIA



Consorcio CCC Ituango

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEÓN

Versión	0
Fecha	21/06/2014
ITU/PR/F-045	

LOCALIZACIÓN: Eje de presa

Coor. Este: 1156374,081
Coor. Norte: 1280898,579
Cota: 203

PERFORACIÓN No: P10EN
Con recuperación ☑ Destructiva ☐ Diámetro de la perforación: 76 mm NQ Ángulo (θ): 20 grados

Fecha: Día 05 Mes 08 Año 2014

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
Inicio del ensayo: m (Znf₁) Finalizar el ensayo: m (Znf₂)

MANÓMETRO
Altura del manómetro (hm): 0,50 m

Hora: Inicio 09:53 Finalización 10:28

TRAMO A ENSAYAR
de 127,50 m (Zo) hasta 135,00 m (Zf)

TUBERÍA DEL ENSAYO
Diámetro interior de la tubería: 3/4 mm

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	0	1 Min
2,5	0	1	1 "
2,5	1	1	1 "
2,5	1	2	1 "
2,5	2	2	1 "
P/2 5	0	5	1 Min
5	5	10	1 "
5	10	14	1 "
5	14	18	1 "
5	18	24	1 "
P MAY 10	0	12	1 Min
10	12	26	1 "
10	26	33	1 "
10	33	36	1 "
10	36	45	1 "
P/2 5	0	1	1 Min
5	1	2	1 "
5	2	3	1 "
5	3	3	1 "
5	3	3	1 "

Presión (Bar)	Lectura inicial (lt)	Lectura final (lt)	Tiempo (s)
P/4 2,5	0	0	1 Min
2,5	0	1	1 "
2,5	1	2	1 "
2,5	2	2	1 "
2,5	2	3	1 "

Ensayo con obturador doble

MANÓMETRO
BOMBA
CUENTALITROS
NF
OBTURADOR
TRAMO A ENSAYAR
OBTURADOR

DILIGENCIÓ: Farid Alvarez Rojas

Nota: Una unidad Lugeon (uL) equivale al gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación, que fluye en una roca bajo una presión total de 10 Kg/cm² (1 Bar)

Tiempo de Bombeo: 0 Hrs

INGENIERO DE FRENTE — CONSORCIO CCC ITUANGO
INSPECTOR — INTERVENTORIA
INGENIERO — INTERVENTORIA

Fuente: Departamento de Inyecciones Consorcio CCC Ituango