

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Trabajo de Investigación

**Determinación del caudal de infiltración en la
cimentación de la presa Camilaca en el distrito de
Camilaca, provincia de Candarave, región Tacna, 2019**

Alexander Yván Cuellar Barrera

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Civil

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Polhett Coralí Begazo Velásquez.

Agradecimiento

Por sobre todas las cosas y circunstancias que vivimos actualmente, primero agradecer a Dios, que permite que hoy podamos estar con salud, en unión con nuestras familias y convivir con nuestra comunidad y porque por él hoy estamos aquí.

Agradecer a mis hijos y mi esposa, que durante el desarrollo de mis estudios académicos han tenido la paciencia y la capacidad de entender mi ausencia física en varios acontecimientos familiares, pero mi pensamiento y corazón siempre estuvo con ellos.

A mis padres, quienes siempre apoyaron las decisiones que tomé hasta hoy y que han visto cada paso y logro obtenido.

Agradecer a los ingenieros que, a lo largo de la carrera, han compartido sus conocimientos y experiencias para ser buenos profesionales, así como al área administrativa que siempre estuvo llana a escuchar y servirnos.

A todos mis compañeros por el tiempo que hemos pasado juntos en las aulas de la universidad, por los intercambios de ideas y fundamentalmente por el trabajo en equipo.

Dedicatoria

Para mi motor y fuerza, Alexander y María Fernanda, a mi compañera de vida Kathia, con quienes comparto y son parte del cumplimiento de mis objetivos, anhelos y metas.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema	3
1.2.1. Pregunta General.....	3
1.2.2. Preguntas Específicas.....	3
1.3. Objetivo General.....	3
1.3.1. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación	4
1.5. Importancia.....	4
1.6. Delimitación	5
1.6.1. Delimitación Temporal.....	5
1.6.2. Delimitación Espacial	5
1.7. Hipótesis.....	5
1.8. Variables	5
1.8.1. Operacionalización de Variables	6
CAPITULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la Investigación	7
2.2. Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Características del Flujo a Través de un Medio Poroso.....	10
2.2.2. Drenaje superficial	12
2.2.3. Falla del terraplén de aguas abajo	12
2.2.4. Filtraciones.....	13
2.2.5. Teoría de la línea de corriente superior. Condiciones de entrada y salida.....	17
2.2.6. Métodos para la determinación de la línea de corriente superior.....	18
2.2.7. Flujo de agua en suelos	21
2.3. Definición de los Términos Básicos	22
CAPITULO III	24
METODOLOGÍA	24
3.1 Método y Alcance de la Investigación	24
3.2 Diseño de la Investigación	25
3.3 Población y Muestra	25

3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	25
3.5	Técnicas e Instrumentos de Análisis de datos	26
CAPITULO IV		27
DIAGNÓSTICO, MODELAMIENTO Y RESULTADOS.....		27
4.1	Diagnóstico de la Situación Actual.....	27
4.2	Diseño del Modelamiento de las Infiltraciones	29
4.2.1	Recolección de Datos.....	30
4.2.2	Condiciones de Análisis.....	31
4.2.3	Modelamiento de Infiltraciones	32
4.3	Cálculo del Caudal de las Infiltraciones en la Cimentación de la Presa	36
4.3.1	Sección Transversal 0+050 (Estribo Derecho).....	36
4.3.2	Sección Transversal 0+095 (Cauce de Río)	38
4.3.3	Sección Transversal 0+140 (Estribo izquierdo).....	39
CONCLUSIONES.....		43
RECOMENDACIONES.....		44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		45
ANEXOS		47
ANEXO 01: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-01)		48
ANEXO 02: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-02)		56
ANEXO 03: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-03)		64
ANEXO 04: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-04)		70
ANEXO 05: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-05)		76
ANEXO 06: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-06)		83
ANEXO 07: REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-07)		89

Índice de tablas

Tabla 1:	Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2:	Coeficientes de Permeabilidad Empleados en el Cuerpo de la Presa.....	34
Tabla 3:	Coeficientes de Permeabilidad Empleados en la Cimentación Sección 0+050 (Estribo Derecho)	35
Tabla 4:	Coeficientes de Permeabilidad Empleados en la Cimentación Sección 0+095 (Cauce de Río).....	35
Tabla 5:	Coeficientes de Permeabilidad Empleados en la Cimentación Sección 0+140 (Estribo Izquierdo)	35
Tabla 6:	Caudales de Infiltración en la Sección Transversal 0+050 (Estribo Derecho)	41
Tabla 7:	Caudales de Infiltración en la Sección Transversal 0+095 (Cauce de Río)	41
Tabla 8:	Caudales de Infiltración en la Sección Transversal 0+140 (Estribo Izquierdo).....	42
Tabla 9:	Caudales de Infiltración Total Bajo la Cimentación de la Presa	42

Índice de figuras

Figura 1:	Red de flujo en presa de tierra.....	17
Figura 2:	Línea de Corriente Superior en la teoría de Dupuit.....	18
Figura 3:	Vista desde aguas arriba hacia aguas abajo.....	28
Figura 4:	Afloramiento de roca en la superficie en la zona de presa.....	29
Figura 5:	Depósitos eluviales presentes en la ladera de la zona de presa.....	29
Figura 6:	Instalación de la plataforma de perforación DHC-02, ubicada en el cauce de río.....	30
Figura 7:	Ubicación de los sondeos en diamantina realizados.....	31
Figura 8:	Perfil geotécnico, ubicación de sondeos diamantinos y registros de permeabilidad en la cimentación de la presa.....	32
Figura 9:	Ubicación de secciones transversales.....	33
Figura 10:	Perfilado de la sección transversal y la designación de los materiales.....	34
Figura 11:	Digresión de elementos finitos de la Sección Transversal 0+050 (Estribo derecho).....	36
Figura 12:	Redes de flujo de la Sección Transversal 0+050 (Estribo derecho).....	37
Figura 13:	Vectores de flujo y caudal de infiltración de la Sección Transversal 0+050 (Estribo derecho).....	37
Figura 14:	Digresión de elementos finitos de la Sección Transversal 0+095 (Cauce de río).....	38
Figura 15:	Redes de flujo de la Sección Transversal 0+095 (Cauce de río).....	38
Figura 16:	Vectores de flujo y caudal de infiltración de la Sección Transversal 0+095 (Cauce de río).....	39

Figura 17:	Digresión de elementos finitos de la Sección Transversal 0+140 (estribo izquierdo).....	39
Figura 18:	Redes de flujo de la Sección Transversal 0+140 (estribo izquierdo).....	40
Figura 19:	Vectores de flujo y caudal de infiltración de la Sección Transversal 0+140 (estribo izquierdo).....	40

RESUMEN

Una presa es, en cierta forma, un impedimento interpuesto en la corriente para que el agua pase por debajo de ella. La energía debe disiparse lo suficiente por fricción y otras pérdidas a través de esa trayectoria, de forma de que salga (aguas abajo de la presa) sin provocar erosión (sifonamiento) que ponga en riesgo la estructura.

El recorrido del flujo de agua a través de los diferentes estratos de materiales encontrados bajo la cimentación de la presa es mayor en las zonas donde existe alta permeabilidad debido a que el flujo sigue una ruta sinuosa a través de los vacíos del estrato, caso contrario ocurre en las zonas semipermeables a impermeables.

En el presente modelamiento se muestra el desarrollo de la carga hidráulica a lo largo de la cimentación generada por el máximo embalse; el modelamiento nos indica que la carga hidráulica disminuye a medida que se profundiza cada vez más en la cimentación y también cuando las líneas de flujo alargan su recorrido, por este motivo es que se registraron dos caudales de infiltración diferentes en el orden de 697,618.96 m³/año en el pie del talud aguas arriba y 255,595.24 m³/año en el pie del talud aguas abajo, siendo este último valor el indicativo final a tener en cuenta, lo cual confirma lo indicado al inicio del presente párrafo.

Palabras claves: estanqueidad, infiltración, modelamiento, sifonamiento, cimentación, carga hidráulica.

ABSTRACT

A dam is, in a way, a barrier placed across the flow that forces water to pass under it. The energy must be dissipated enough by friction and other losses through this path, so it comes out (downstream from the dam) without causing erosion (siphoning) that puts the structure at risk.

The flow of water through the different strata of materials found under the dam foundation is greater in areas where there is high permeability because the flow follows a sinuous path through the vacuums of the stratum, otherwise it occurs in semi-permeable to impervious areas.

This modeling shows the development of the hydraulic load along the foundation generated by the maximum reservoir; the modeling tells us that the hydraulic load decreases as it deepens more and more into the foundation and also when the flow lines lengthen their path; for this reason, two different infiltration flows were recorded in the order of 697,618.96 m³/year in the foot of the upstream slope and 255,595.24 m³/year in the foot of the downstream slope, being the latter value, the final indicator to be taken into account, which confirms what is indicated at the beginning of this paragraph.

Keywords: Watertightness, Infiltration, Modeling, Siphoning, Foundation, Hydraulic Load.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial, las nuevas tecnologías en la construcción de obras de almacenamiento de gran envergadura, han sufrido mejoras en las consideraciones en lo que a seguridad de la infraestructura se refiere sobre todo en su etapa de pre y post construcción, afianzándose estas consideraciones con el apoyo de nuevas técnicas ingenieriles en la recolección de información in situ complementado con el uso de software especializado, los cuales posibilitaran lograr predicciones y modelamientos cada vez más cercanos a la realidad, permitiendo con ello predecir, atenuar y sobre todo como enfrentar eventos catastróficos que estructuras de este tipo pudiesen ocasionar ante una posible rotura o colapso.

A nivel de la provincia de Candarave en la región Tacna, su economía se sostiene principalmente en la agricultura complementaria con la ganadería, actualmente no desarrollada adecuadamente, que permitan mejorar las condiciones de vida de la zona, este problema se debe a la escasez del recurso hídrico, lo cual condiciona el desarrollo económico y social no sólo de Candarave, sino de toda la región sur-occidental del Perú, es por ello importante la construcción de presas confiables y más seguras que permitan garantizar el agua en estas zonas.

En ese contexto se tiene que tener en cuenta que la infiltración y el arrastre de partículas finas de suelo entre los distintos materiales que conforman una presa de materiales sueltos, pueden tener consecuencias graves y, en ocasiones, conducir a la falla total de la propia estructura. Es así que después del desbordamiento del vaso, las causas más frecuentes de las fallas identificadas en las presas de materiales sueltos del mundo es la tubificación de su cimentación o erosión interna en su cuerpo (Mallet y Pacquant 1951, Marsal y Reséndiz, 1975, Alberro, 1995, ICOLD, 1994, Wan et al., 2002, Schaefer y Schaaf, 2006, entre otros).

Es por ello que una de las medidas pertinentes para poder identificar y mitigar infiltraciones en una presa de materiales sueltos durante su diseño, es el modelamiento con el uso de software especializado, el cual permitirá identificar sectores susceptibles de inestabilidad y con ello poder realizar adecuadamente un análisis que permita minimizar el riesgo de colapso de la presa y que consecuentemente pudiese ocasionar daños severos en zonas aledañas a esta.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

El desarrollo del presente trabajo de investigación lo que busca es cuantificar y evaluar el comportamiento de las infiltraciones de agua que se producen tanto en la cimentación como en el mismo cuerpo de una presa de materiales sueltos e inclusive si fuese el caso de relaves, partiendo de una primera premisa que asegurar que por una presa no existen o no se producen infiltraciones es falso, de una segunda premisa que una adecuada cuantificación de estas infiltraciones permitirá asegurar la estanqueidad de un embalse y finalmente que el riesgo de colapso de este tipo de estructuras es proporcional a su altura, es decir, que a mayor altura el grado de impacto de esta estructura se acrecienta.

La infiltración en una presa de materiales sueltos durante la etapa de proyecto se puede predecir y controlar si se consideran las obras necesarias para ello, sin embargo, si durante su construcción no se respetan los procedimientos constructivos idóneos como la conformación del cuerpo de la presa en capas de compactación a espesores determinados, en su etapa de operación se pueden llegar a formar cavernas generadas por el arrastre de los materiales finos que conforman ya sea el cuerpo de la presa o la cimentación de esta. Dichas cavernas

ocasionarían líneas de falla por corte y asentamientos diferenciales, lo cual aumentaría el riesgo de colapso de la estructura.

Es por ello que es de suma importancia poder realizar una adecuada cuantificación de este tipo de eventos con el objetivo principal de poder asegurar en primera instancia la estanqueidad del embalse y consecuentemente la integridad de la estructura de almacenamiento y con ello poder disminuir notablemente los grados de riesgo en los sectores que se encuentren aguas abajo y que pudiesen ser afectados por la estructura.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Pregunta General

¿De qué manera la determinación de los caudales de las infiltraciones en la cimentación de la presa permitirá cuantificar las pérdidas en su embalse de almacenamiento?

1.2.2. Preguntas Específicas

- ¿Cuál es la situación actual de la zona donde se construirá la presa?
- ¿Será posible la implementación del modelamiento de las infiltraciones?
- ¿De qué modo el cálculo del caudal de las infiltraciones en la cimentación de la presa permitirá resguardar la estanqueidad de su almacenamiento?

1.3. Objetivo General

Determinar los caudales de las infiltraciones en la cimentación de la presa con el objetivo principal de cuantificar las pérdidas del recurso hídrico provenientes del embalse de la presa Camilaca.

1.3.1. Objetivos Específicos

- Determinar la situación actual de la zona donde se construirá la presa, mediante el desarrollo de estudios básicos necesarios.
- Establecer el diseño del modelamiento de las infiltraciones.

- Desarrollar el cálculo del caudal de las infiltraciones en la cimentación de la presa.

1.4. Justificación

Con respecto a lo económico, este tipo de trabajos de investigación ayuda a verificar si una presa va a ser capaz de trabajar funcional y adecuadamente en su periodo operativo, es decir, si va a cumplir con el objetivo específico de su requerimiento que es el de almacenar y regular el recurso hídrico asegurando con ello las condiciones socio económicas en las zonas de interés en la parte baja; así mismo este trabajo va a ayudar a minimizar potenciales eventos catastróficos que pudiesen poner en peligro la infraestructura, salvaguardando con ello la inversión de su construcción y de toda la infraestructura que se pudiese encontrar aguas abajo.

Teóricamente, es posible realizar modelos matemáticos apoyados con el empleo de software especializado que permitan evaluar el desarrollo y comportamiento de las infiltraciones de agua que se pudiesen producir tanto en la cimentación como en el mismo cuerpo de la estructura de cierre.

Técnicamente, en la actualidad existe ingeniería moderna complementaria a la construcción de una presa que permiten atenuar de manera eficiente los posibles problemas de infiltraciones.

1.5. Importancia

La presente investigación de la determinación del cálculo de las infiltraciones en la cimentación de la presa es importante porque permite asegurar la estanqueidad del embalse de una presa, además se relaciona directamente con la estabilidad de la presa durante su periodo operativo, teniendo en cuenta que este tipo de estructuras son de suma prioridad para el futuro de una región y consecuentemente del país, ya que aseguraría la dotación del recurso hídrico para el uso poblacional y agrícola principalmente.

Mediante la presente investigación se podrá cuantificar las posibles infiltraciones que se puedan originar tanto en la cimentación como en el propio cuerpo de la presa.

Los resultados a obtenerse nos permitirán zonificar sectores susceptibles a infiltraciones y con estos poder considerar las obras correctivas necesarias a fin de mitigar este fenómeno y consecuentemente poder garantizar la seguridad óptima que este tipo de estructura requiere.

1.6. Delimitación

1.6.1. Delimitación Temporal

Los datos recogidos para el presente análisis se están considerando desde mayo a julio del 2019.

1.6.2. Delimitación Espacial

Geográficamente la zona del proyecto se ubica dentro de las coordenadas UTM, cuyo datum WGS84 es:

- 8'091,200 N - 8'086,000 N
- 352,900 E - 354,500 E

Políticamente la zona de proyecto se encuentra enmarcado en:

- Región: Tacna
- Provincia: Candarave
- Distrito: Camilaca
- Localidad: Alto Camilaca

1.7. Hipótesis

La implementación de un modelamiento y cálculo de las infiltraciones que se pudiesen suscitar en la conformación del cuerpo y en la cimentación de la presa Camilaca que permita la cuantificación de las infiltraciones es posible.

1.8. Variables

- Variable Independiente: Modelamiento de las infiltraciones.

- Variable Dependiente: Determinación del caudal de las infiltraciones.

1.8.1. Operacionalización de Variables

A continuación, se presenta la operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador
Independiente: Modelamiento de las Infiltraciones	Diagnóstico Geotécnico Actual de la Zona de Cierre	Tipo de Estratos
	Selección de Metodología	Matriz de Selección
	Costo de Tratamiento Geotécnico	Costo Total
Dependiente: Determinación del Caudal de las Infiltraciones	Medición de la Infiltración	Caudal de Infiltración
	Conformación del Cuerpo de Presa	Índice de Compactación
		Factor de Seguridad
	Seguridad de la Estructura de Presa	Daño de Infraestructura Existente Aguas Abajo
		Pérdida Económica y de Vidas Humanas
		Asentamientos Diferenciales No Esperados
		Niveles Freáticos en Materiales Sobresaturados
	Colapso de Estructura	

Nota: Elaboración propia

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Casallas y Chacón (2016) en su tesis de grado denominada “Estimación del Hidrograma de Salida en la Hipotética Rotura de la Presa del Proyecto de Regulación del Río Tona–Embalse de Bucaramanga”, para optar su título de Ingeniero Civil en la Universidad Industrial de Santander. El objeto de estudio fue aplicar varias metodologías para la elaboración de un hidrograma de salida generado para analizar una hipotética rotura de una presa, teniendo en consideración el nivel máximo de operación así como del nivel máximo extraordinario; enfocado para el proyecto de Regulación del Río Tona – Embalse de Bucaramanga, siendo este tipo de análisis un requisito básico para la formulación del cualquier plan de riesgo y emergencia ayudando con ello a tomar medidas de prevención y mitigación necesarias.

Triana (2006) en su tesis doctoral denominada “Contribución a la Estimación de Consecuencias de Fallo y Rotura de Presas en el Contexto del Análisis de Riesgos”, para optar su título de Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente en la Universidad Politécnica de Valencia. El objeto de estudio fue lograr un planteamiento metodológico aplicable para cualquier análisis de seguridad que

permita integrar una valoración de consecuencias por el fallo de presas, teniendo en cuenta que la evolución continua de estas técnicas de análisis permitirá que la posibilidad de fallos disminuya considerablemente, permitiendo con ello mejorar la comprensión del comportamiento de una presa y de las consecuencias de producirse su rotura o fallo.

Baena (2011) en su tesis doctoral denominada “Análisis de la Filtración en Presas con Cimientos Yesíferos”, para optar su título de Doctor en ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en la Universidad Politécnica de Madrid. El objeto de estudio fue analizar el proceso de disolución en el yacimiento yesífero de una presa, como producto del aumento de la carga hidráulica originada por el agua del embalse, verificada con ensayos de validación y sus respectivos cálculos, implementando además el cálculo de una red de filtración.

Sánchez (2007) en su tesis doctoral denominada “Seguridad de Presas: Aportación al Análisis y Control de Deformaciones como Elemento de Prevención de Patologías de Origen Geotécnico”, para optar su título de Doctor en Ingeniería y Morfología del Terreno en la Universidad Politécnica de Madrid. El objeto de estudio fue aportar criterios que permitan evitar o detectar las patologías de origen geotécnico identificadas ya sea en la etapa de proyecto, construcción y explotación mediante ejemplos reales; enfocándose exclusivamente a las deformaciones y teniendo en consideración a las posibles filtraciones que se producen.

Guarniz (2014) en su tesis de grado denominada “Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo”, para optar su título de Ingeniero Civil en la Universidad Privada Antenor Orrego. El objeto de estudio fue determinar las diferencias que se obtienen del esquema numérico unidimensional y bidimensional del hidrograma por la rotura en presas de materiales sueltos, identificándose que la altura y volumen de agua del embalse son los parámetros más importantes que influyen directamente en las dimensiones y tiempo de rotura de la presa.

Córdova (2006) en su tesis de grado denominada “Elaboración de una Gráfica Adimensional de Diseño para Filtros en Presas de Tierra Homogéneas” para optar su título de Ingeniero Civil en la Universidad de Piura. El objeto de

estudio fue proporcionar una metodología de diseño con filtros de drenaje para presas de tierra homogéneas mediante el empleo de una gráfica adimensional la cual es producto de una modelación a escala reducida, que permite el análisis de las variables presentes en su diseño, buscando optimizar las necesidades requeridas.

Pérez (2018) en su tesis de grado denominada “Estudio Hidráulico y de Estabilidad de una Presa de Materiales Suelos sobre el Río Callazas en la Región Tacna” para optar su título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú. El objeto de estudio fue realizar el diseño hidráulico y de estabilidad de una presa a partir de datos preliminares provenientes de estudios básicos, determinando que las presiones intersticiales de los diferentes materiales no solo se encuentran condicionados por la permeabilidad sino también de la succión que influye en el recorrido de las infiltraciones y presiones del agua, siendo estas escasas tanto a través del cuerpo de la presa como de su primer estrato de su cimentación.

Morán (2013) en su tesis doctoral denominada “Mejora de la Seguridad de las Presas de Escollera Frente a Percolación Accidental Mediante Protecciones Tipo Repié”, para optar su título de Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en la Universidad Politécnica de Madrid. El objeto de estudio fue diseñar protecciones tipo repié para evitar el deslizamiento por rotura del espaldón de una presa sometida a percolaciones extraordinarias de origen accidental, teniéndose en cuenta que el diseño es aplicable para materiales granulares, no cohesivos y con un comportamiento cuasi isótropo.

Palavecino (2015) en su tesis de grado denominada “Modelación Bidimensional del Flujo Generado por la Rotura de una Presa de Tierra, utilizando el Programa Iber”, para optar su título de magister en recursos hídricos con mención en diseño de proyectos hidráulicos en la Universidad Politécnica Nacional. El objeto de estudio fue implementar el software Iber para realizar la simulación numérica de un flujo bidimensional producido por la rotura de una presa de materiales sueltos cuyos resultados son comparados con los resultados de un modelamiento unidimensional del programa Hec-Ras, proporcionando información en el desarrollo de zonas de riesgo de originarse una falla en una presa de tierra.

Collado (2015) en su tesis denominada “Inyección e Infiltración en Presas de Relave. Aplicación de la Presa las Gordas”, para su optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería geotécnica en la Universidad Nacional de Ingeniería. El objeto de estudio es la de realizar una descripción del estado situacional de las inyecciones para justificar la implementación de una cortina de mortero para evitar que la fundación se fracture debido a las infiltraciones, obteniendo como resultados que la pantalla de mortero obliga a las filtraciones incrementar su recorrido y disminuir su gradiente hidráulico evitando con ello la erosión interna del núcleo de la presa.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Características del Flujo a Través de un Medio Poroso

(Gaibor, 2012) en suelos en donde se haya realizado compactación, los poros están aparentemente interconectados entre sí, a pesar de ello permitiendo que el agua pueda transitar a través de estos poros. Gaibor (2012) afirma:

El movimiento del agua se da a través de los medios porosos existentes, interconectados generalmente en todo tipo de suelos. Según Lambe en materiales arcillosos conformados por partículas aplanadas, podrían presentarse un porcentaje pequeño de poros aislados. En fotografías hechas con microscopio electrónico nos muestran, que incluso en los suelos de grano muy fino todos los espacios están interconectados entre sí (p.2).

A. Ley de Darcy y Coeficiente de Permeabilidad

Gaibor (2012) afirma:

A mediados del siglo XIX, Henry Darcy, experimentalmente estudió los flujos o movimientos del agua a través de medios porosos, estableciendo la ley que se la conoce actualmente con su propio nombre. Estableciendo que la velocidad mediante la cual el agua transita a través de un medio poroso es directamente proporcional a la diferencia de alturas entre los dos extremos del lecho filtrante

($Q \propto h_A - h_B$), e inversamente proporcional a la longitud del lecho ($Q \propto 1/l$) en otras palabras la velocidad es proporcional al gradiente hidráulico (p. 04).

El flujo es también proporcional al área perpendicular al escurrimiento, A. obteniendo así:

$$Q = kA \left(\frac{h_A - h_B}{L} \right)$$

Donde:

k = Constante de conductividad hidráulica o permeabilidad.

Expresándose como:

$$Q = -kA \left(\frac{\Delta h}{L} \right)$$

El signo negativo indica que el flujo está en la dirección del potencial hidráulico decreciente.

B. Velocidad del Flujo

(Gaibor, 2012) De la combinación de la ley de Darcy $Q=kiA$ y la ecuación de continuidad $Q=Av$, se tiene la Velocidad de Darcy.

$$Av = k.Ai \Rightarrow v = ki$$

Del principio de continuidad y relacionando la velocidad de descarga con la velocidad efectiva media del flujo a través del suelo (v_s) de la forma siguiente:

$$Q = v.A = v_s . A_v$$

Donde:

A_v = Área de los vacíos

V_s = Velocidad de filtración

La velocidad de flujo a través del suelo (V_s), denominado velocidad de infiltración es por lo tanto, igual a la velocidad de descarga dividido por la porosidad.

$$v_s = \frac{v}{n} = \frac{ki}{n}$$

n = porosidad

C. Variación de la conductividad hidráulica.

(Gaibor, 2012) es la constante de proporcionalidad de la Ley de Darcy, que describe la parte funcional de un medio poroso. Este coeficiente es condicionado por la relación de vacíos y la configuración del suelo, depende de la dirección y posición de la medición realizada.

2.2.2. Drenaje superficial

Pérez (2018) afirma:

En la mayoría de proyectos se realiza un exhaustivo estudio de protección para los taludes de aguas arriba y aguas abajo y para la coronación. Sin embargo, muchas veces no se estudia el escurrimiento superficial sobre los estribos, lugares donde podría provocarse erosión debido al flujo de agua de lluvia. Para evitar este efecto en la intersección estribo – ladera, es usual construir cunetas formadas por cantos o roca usada para recubrimiento. Además, podría ser necesario el uso de contracunetas o drenes abiertos para evitar la erosión. También se debe prestar especial atención a la construcción de drenes de descarga o canales que conduzcan la descarga del dren del talón de manera que se eviten encharcamientos aguas abajo (p.12).

2.2.3. Falla del terraplén de aguas abajo

A. Falla por erosión interna

Pérez (2018) afirma:

Otro fallo por tubificación es el producido por erosión interna. También comienza en el talón de aguas abajo y prosigue aguas arriba a lo largo de la base de la presa, en las paredes de un conducto, en un plano de estratificación en la cimentación, en un estrato especialmente permeable o en cualquier otra zona de debilidad. A este tipo de falla se le conoce como falla por erosión subterránea (p.16).

2.2.4. Filtraciones

A. Filtraciones a través del cuerpo de presa

Pérez (2018) afirma:

Dependiendo del tipo de estructura de cierre, el núcleo impermeable de una presa de materiales sueltos genera una resistencia a la filtración. Sin embargo, los suelos son variables en cuanto a su permeabilidad, inclusive las arcillas aún más compactas son porosas y en algunas oportunidades no se puede evitar que el flujo transite a través de ellas. El recorrido de la filtración del agua a través de un medio impermeable como el núcleo depende del nivel del embalse del vaso, de las permeabilidades del material que conforman el núcleo, en direcciones horizontales y verticales, de su intensidad de las presiones residuales originadas por las fuerzas de compresión (compactación) durante su construcción así como del factor tiempo (p.20).

B. Filtraciones bajo la presa

Pérez (2018) afirma:

Para cuantificar filtraciones es necesario tener en cuenta el coeficiente de permeabilidad de la cimentación (k), la cual a su vez está en función a la gradación de las partículas del suelo que conforma su cimentación. Para determinar el coeficiente de permeabilidad k , se pueden considerar varios métodos como bombeos, inyecciones u observaciones del flujo (p.20).

Con el coeficiente de permeabilidad hallado, se puede determinar rápidamente el agua filtrada con la fórmula según la Ecuación de Darcy:

$$Q = K * i * A$$

Donde:

Q, es el caudal a descargar.

K, es el coeficiente de permeabilidad.

I, es el gradiente hidráulico (h/L)

A, es el área bruta de la cimentación de la estructura a través de la cual se produce el flujo.

Pérez (2018) afirma:

Los resultados con el uso de la fórmula anteriormente descrita, deberán usar métodos más precisos como el modelamiento por elementos finitos modelados con software especializado. Más aún si la cimentación presenta varios estratos, situación muy habitual, ya que la permeabilidad vertical tiende a ser menor que la horizontal y esto condicionara los resultados definitivos de las filtraciones (p.20).

C. Teoría de infiltración

Existen dos tipos de análisis para infiltración, flujo permanente o estacionario y flujo impermanente o transitorio.

Collado (2015) afirma:

Un estado donde no se producen cambios es la descripción de un modelo de flujo permanente. En un análisis de infiltración si la presión del agua y caudal son estables, significa que podrán estar en ese estado permanentemente. En casos donde la problemática de la geotecnia está expuesto a condiciones cíclicas, es casi seguro que no se llegue a una condición estable. Si la hipótesis contempla condiciones de borde constantes en el tiempo, entonces la respuesta

es aquella que se corresponde con un tiempo lo suficientemente extenso como para obtener el estado estacionario. En este tipo de análisis no se considera cuanto tiempo se necesita para alcanzar la condición de estable. Solamente se predice como se presentará la superficie para un conjunto de condiciones de borde que no se modificarán en el tiempo ni el espacio. Como el análisis de flujo permanente no considera la componente tiempo, las ecuaciones que lo gobiernan se simplifican. En el análisis permanente las ecuaciones sacan la variable tiempo y omiten la función del contenido volumétrico del agua. Esto no resulta necesario para la solución. El contenido volumétrico de agua es usado para computar las pérdidas o ganancias en el suelo si hay un cambio en las presiones. En un estado permanente no hay cambios en las presiones. Un análisis de flujo impermanente por definición significa que hay cambios. Ejemplo de este tipo de análisis es predecir el tiempo que tarda una presa en humedecerse cuando el reservorio se llena en forma rápida. En un análisis impermanente se deben conocer las condiciones iniciales y las funciones que describen el cambio de las mismas. Por ejemplo, en una presa se deberá conocer la función de llenado y vaciado de la misma en el tiempo, también deberán conocerse las funciones hidráulicas del suelo para determinar en distintos tiempos el estado de infiltración en el mismo. Se parte siempre de una condición inicial para poder conocer los estados intermedios en el tiempo y el estado final de la modelación (p.77).

a) Redes de flujo

Collado (2015) afirma:

Constituye uno de los métodos ampliamente usado para dar solución a problemas hidráulicos respecto de filtraciones en presas y problemas que incluyan obras hidráulicas. Este método gráfico constituye una buena alternativa para resolver problemas de infiltración resolviendo en forma simplificada la ecuación de Laplace. Si se conoce las condiciones de borde es fácil predecir el comportamiento del flujo reconociendo el caudal y presión de la

región en estudio. La ecuación $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$, es una ecuación de derivadas parciales elípticas cuya solución puede representarse por dos familias de curvas que se intersectan en ángulo recto. Las redes de flujo son una solución única para una condición específica de infiltración, es decir, que existe una sola familia de curvas que será solución para una geometría y condiciones de contorno dadas (p.82).

Método de diferencias finitas

Collado (2015) afirma:

El método de diferencias finitas resuelve la ecuación de Laplace aproximándola con un sistema de ecuaciones algebraicas lineales. Usando la Ley de Darcy y la hipótesis de que la carga en un nodo es el promedio de los nodos circundantes, se forma un sistema N de ecuaciones algebraicas lineales con N incógnitas (N igual al número de nodos). Pueden resolverse mallas simples con pocos nodos. Normalmente, N es grande y deben aplicarse métodos de relajación que involucran iteraciones y el uso de una computadora (p.85).

Método de elementos finitos

Collado (2015) afirma:

El método de elementos finitos es una segunda forma de solución numérica. Este método también se basa en el modelo de malla (no necesariamente rectangular) que divide la región de flujo en elementos discretos y proporciona N ecuaciones con N incógnitas. Para cada elemento se proporcionan sus propiedades como la permeabilidad, y se establecen las condiciones de borde (cargas y caudales). Se resuelve el sistema de ecuaciones para determinar las cargas en los nodos y caudales en los elementos (p.86).

2.2.5. Teoría de la línea de corriente superior. Condiciones de entrada y salida

Como se observa en la Figura 1., la red de flujo está compuesta por las líneas equipotenciales y las líneas de flujo. Las primeras unen todos los puntos de una región con igual carga hidráulica y la segunda representa la trayectoria real y física que sigue el agua a través de la región del flujo, desde la zona de mayor potencial a la zona de menor potencial, y entre ellas se forman los canales de flujo.

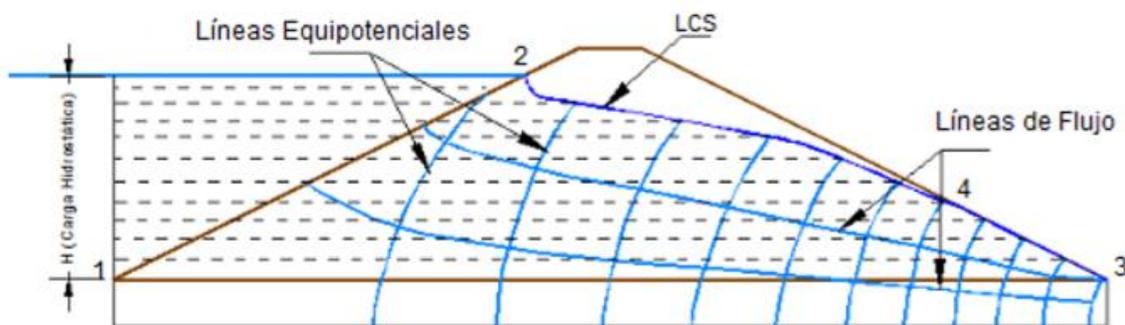


Figura 1. Red de flujo en presa de tierra (Tenreiro, 2003)

La particularidad del flujo libre en presas de tierra radica en que, en la zona del flujo, una de las fronteras no es conocida. La línea 1-2 en la Figura 1 es una línea equipotencial donde se produce el contacto entre el agua y el suelo permeable, mientras que la línea 1-3 es una línea de flujo. Ambas son fáciles de determinar, no siendo así para las restantes fronteras de la región. Como se aprecia en la figura, por debajo de la línea 2-4 la cortina de la presa se encuentra en estado saturado y por encima de ella, salvo una estrecha región capilar, el suelo se encuentra en estado seco (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987). A esta línea se le conoce como Línea de Corriente Superior (LCS) y es a la vez una línea de flujo y una línea equipotencial donde todas las presiones son iguales a cero. La línea 4-3 es de equipresión correspondiente a la presión atmosférica y se puede determinar fácilmente si se conoce el punto 4, por lo que es la determinación de la LCS la clave para delimitar la región del flujo.

2.2.6. Métodos para la determinación de la línea de corriente superior

A. Teoría de Dupuit

(Cordero, 2017) En 1863 se establecieron las bases de una solución aproximada para problemas de flujo no confinado. Las hipótesis de la teoría de J. Dupuit fueron las siguientes:

- Para pequeñas inclinaciones, las líneas de flujo se consideran horizontales y las líneas equipotenciales como verticales.
- El gradiente hidráulico es igual a la pendiente de la línea de corriente superior en el punto de que se trate y es constante en cualquier punto de la vertical que se trace por él.

La ecuación que representa el gasto que circula en la sección transversal, considerando un espesor igual a la unidad perpendicular al plano del papel, según la teoría de Dupuit es:

$$q = \frac{k}{2S} (h^2 - h_0^2)$$

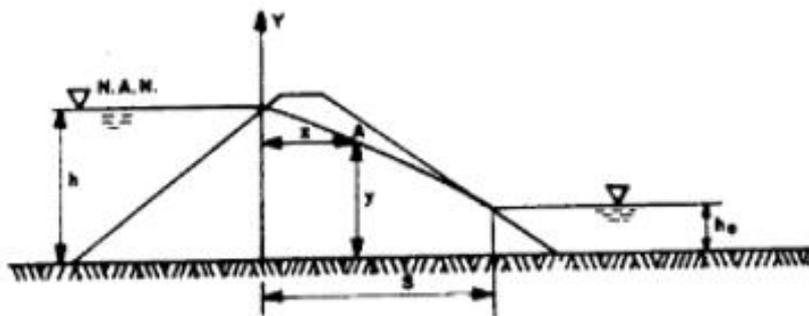


Figura 2. Línea de Corriente Superior en la teoría de Dupuit (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

Como se observa en la Figura 2, en la teoría de Dupuit la LCS no es tangente al talud aguas abajo ni comienza perpendicular al talud aguas arriba, además, solo depende de la geometría de la sección y no de la permeabilidad.

B. Solución de Schaffernak y Van Iterson para la LCS

(Cordero, 2017) Schaffernak y Van Iterson propusieron en 1916, de manera independiente, determinar la posición de la LCS y mantener las dos hipótesis de Dupuit, pero imponiendo la condición de salida correcta para el caso de tirante nulo aguas debajo de la presa (Cardona et al., 2012):

$$a = \frac{d}{\cos \theta} - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \theta} - \frac{h^2}{\sin^2 \theta}}$$

La expresión permite calcular el valor de a y situar el punto 4 de la LCS siendo θ el ángulo de inclinación del talud aguas abajo. Una vez hecho esto, se puede trazar la LCS utilizando la ecuación de LCS en función del gasto:

$$q(d - x) = k \frac{h^2 - y^2}{2}$$

Y la expresión del gasto en la sección transversal que pasa por el punto 4:

$$q = k * a * \sin \theta * \tan \theta$$

Con las expresiones anteriores se puede calcular el gasto de filtración sin utilizar la red de flujo.

C. Solución de J. Kozeny para la LCS:

(Cordero, 2017) En 1931, J. Kozeny propuso una solución rigurosa para el caso en que el ángulo $\theta=180^\circ$. Esta solución retoma la teoría de Dupuit al plantear que el gradiente hidráulico es igual a la pendiente de la LCS. Las conclusiones finales de esta solución plantean que las líneas equipotenciales y de flujo son una familia de parábolas de foco común A y la ecuación para determinar la LCS está referida a un sistema de ejes rectangulares en el origen de este foco:

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0}$$

Donde y_0 es la ordenada en el origen de coordenadas de la línea de corriente superior.

D. Solución de A. Casagrande para la línea de corriente superior

(Cordero, 2017) Arthur Casagrande (1925-1940) extendió la solución rigurosa de Kozeny para arribar a soluciones aproximadas, pero de alta valor práctico, útiles para todos los casos en que el ángulo θ se encuentre entre los valores de 60° a 180° . Su solución consiste, en esencia, en adoptar como primera aproximación para la forma de la línea de corriente superior la parábola básica de Kozeny, para corregir en la etapa siguiente la entrada y salida de la curva a los taludes aguas arriba y aguas abajo respectivamente, a fin de lograr que la línea trazada satisfaga ambas condiciones.

E. Soluciones a las filtraciones

Pérez (2018) afirma:

Para evitar las pérdidas de agua se pueden usar diversos métodos de control de filtraciones en función de las filtraciones máximas permitidas y de la naturaleza de la cimentación. Se definen a continuación los métodos más importantes: los dentellones de tierra son rellenos de materiales impermeables que se compactan de la misma manera que el núcleo de la presa. Pueden ser con costados inclinados o verticales, siendo estos últimos poco económicos debido al costo de la mano de obra para colocar y compactar el material de relleno. Estas zanjas deben ubicarse en paralelo al eje y a cientos de metros aguas arriba de la línea central de la presa, pero no más allá de la zona en la que provocaría una resistencia a la filtración como la que ofrece el propio núcleo de la presa. Siempre que se pueda se debe usar este método para cortar las filtraciones de una cimentación permeable y evitar la tubificación. En los dentellones parciales, la reducción del caudal no es directamente proporcional a la parte de la capa permeable obstruida, sino que se ve influido por la pérdida de carga que esta obstrucción produce. Este tipo de dentellones puede ser efectivo en una cimentación estratificada interceptando los estratos más permeables y aumentando el recorrido vertical que las

filtraciones deben hacer. Los dentellones de tablestacas de acero son relativamente caros y se ha visto que las filtraciones en las uniones son considerables. Sin embargo, esta técnica sigue usándose en combinación con un dentellón parcial para incrementar su profundidad. Generalmente, estas tablestacas deben ser de acero debido a su resistencia. Sin embargo, su uso está restringido a cimentaciones de limo, arena y grava fina (materiales que no ofrecen gran resistencia a la penetración). En el mejor de los casos, usando compuestos para impermeabilizar uniones y con un correcto hincado, la eficiencia de este tipo de método no supera el 90%. En el caso de dentellones con mezcla de cemento, la cortina es conseguida con el traslape sucesivo de pilotes individuales. Cada pilote individual consiste en una columna de suelo mezclado con mortero para formar una especie de pilote en el suelo. Cada pilote es construido inyectando mortero a través de una barrena giratoria hueca que en el extremo lleva una cabeza giratoria con aspas para mezclar el material de la cimentación con la lechada. Esta lechada se inyecta tanto cuando se introduce como cuando se saca para asegurar una buena mezcla. El resultado es la formación de un elemento cilíndrico de arena y grava unidas con cemento. Este método no es recomendado para suelos arcillosos ni bolonerías. Debido a sus restricciones, en los últimos años fue desarrollado un proceso similar llamado jet grouting. Este método depende de inyecciones a alta presión (3000 a 10000 lb/pulg²) más que de una cabeza para mezclar suelo y lechada (p.20).

2.2.7. Flujo de agua en suelos

(Santos, 2018) Cumpliendo la ley de Bernoulli, Darcy estableció el comportamiento del flujo del agua a través del suelo en 1856; mediante un dispositivo experimental, estudió las propiedades del flujo estacionario en los suelos. Demostrando así la existencia de una relación lineal entre la velocidad de filtración del medio poroso y el gradiente hidráulico (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1974). Reynolds a finales del siglo XIX concluyó a partir de Darcy que en el rango de un flujo laminar, el gradiente hidráulico es proporcional a la velocidad del flujo (Berry & Reid, 1993). El coeficiente de

permeabilidad es una constante proporcional a la velocidad de descarga correspondiente a un gradiente hidráulico, en este caso unitario (Marsal & Reséndiz Núñez, 1983).

Partiendo de la ecuación del flujo a través de los suelos de Darcy tenemos:

$$v = k * i$$

Dónde:

v = velocidad del flujo a través del medio poroso

k = Coeficiente de permeabilidad

i = gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico se define como la pérdida de carga total en una distancia recorrida por una partícula de agua (Cruz Alavez, 2008).

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

2.3. Definición de los Términos Básicos

Infiltraciones: Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo o estructura.

Factor de Seguridad: Es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

Nivel Freático: Es la distancia concreta que hay entre el nivel del agua subterránea y la superficie. En el interior de la Tierra las aguas subterráneas alcanzan un punto máximo de profundidad y dicho lugar es conocido como nivel freático. En este lugar la presión del agua es equivalente a la presión atmosférica.

Asentamientos Diferenciales: Son los movimientos o desplazamientos relativos de las diferentes partes de una estructura a causa de un asentamiento irregular de la misma, provocados por un desequilibrio de esfuerzos en el suelo.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y Alcance de la Investigación

Se trata de una investigación de método cuantitativo, heurístico, inductivo y analítico, porque empleará diferentes métodos y técnicas que permitirán encontrar la mejor solución al problema identificado a mayor profundidad y plenitud teniendo en cuenta lo ya experimentado y observado.

Según Supo (2012), el tipo de investigación se puede desagregar de la siguiente manera:

- Según la clasificación de la toma de los datos es del tipo retrospectivo, debido a que se toma en consideración experiencias pasadas.
- Según el número de ocasiones en que mide la variable de estudio es del tipo longitudinal, debido a que la variable identificada se evalúa en varias oportunidades.
- Según el número de variables de interés es del tipo descriptivo, debido a que se trabajará con las variables identificadas.

3.2 Diseño de la Investigación

Según el diseño de investigación Arias (2006), el proyecto a desarrollar se clasifica como:

- De campo, porque se requiere la recolección de datos de los sondeos diamantinos in situ, con las cuales se realizarán los modelamientos y cálculos respectivos.
- Cuasi experimental, porque se requieren realizar varios ensayos in situ como lo son las pruebas agua, teniendo como base experiencias pasadas para una mejora continua en el procesamiento de datos durante el modelamiento a realizar.

La presente investigación se encuentra dentro del nivel descriptivo.

3.3 Población y Muestra

La población considerada se encuentra enmarcada por los diversos estudios de infiltraciones realizados a diferentes proyectos cuya componente principal considere estructuras de almacenamiento de recurso hídrico ubicados dentro del distrito de Camilaca en la región Tacna. Para el presente proyecto de investigación solo se cuenta con un solo proyecto que reúne las consideraciones anteriormente indicadas.

Con respecto a la muestra se ha considerado como muestra a la misma población.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó en primera instancia mediante la observación en campo y durante la ejecución de los sondeos en diamantina desarrollados en los puntos de perforación ya asignados; en segunda instancia mediante el acopio de datos producto de los ensayos de las pruebas de agua realizados in situ en cada sondeo diamantino y en tercera instancia mediante la introducción de la data anteriormente mencionada en planos geológicos geotécnicos ya desarrollados.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Análisis de datos

Con respecto al análisis de datos, para el presente proyecto de investigación se desarrollara de la siguiente manera:

- Empleo de hojas de Excel, para el agrupamiento y ordenamiento de los datos obtenidos de los resultados de los ensayos de las pruebas de agua realizadas in situ.
- Software Autocad, para la correlación entre la información topográfica, geológica y los resultados de los sondeos en diamantina.
- Software especializado, para el modelamiento y cálculo de los caudales de las infiltraciones a analizar.
- Información bibliográfica, para relacionar y cuantificar los resultados del modelamiento con valores y rangos de riesgo para el análisis de una presa.

CAPITULO IV

DIAGNÓSTICO, MODELAMIENTO Y RESULTADOS

4.1 Diagnóstico de la Situación Actual

En la actualidad la zona designada para la construcción de la presa presenta condiciones favorables para su construcción, teniendo en consideración los siguientes aspectos.

Topográficamente la zona de cierre y embalse se dispone en forme de “V”, con pendientes moderadas en sus estribos, permitiendo con ello la construcción de una estructura con bastante simetría y de fácil acceso.



Figura 3. Vista desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Hidrológicamente, la cuenca a ser aprovechada, indica que existe el recurso hídrico necesario para atender las necesidades de agua en la parte baja.

Geológica y geotécnicamente, en la zona de presa se presentan coberturas de suelos eluviales, depósitos aluviales y en determinados sectores afloramientos rocosos, permitiendo con ello ampliar los tipos de presa a construirse en la zona, así mismo en la zona no se presenta lineamientos de falla que pudiesen activarse por eventos sísmicos.



Figura 4. Afloramiento de roca en la superficie en la zona de presa.



Figura 5. Depósitos eluviales presentes en la ladera de la zona de presa.

4.2 Diseño del Modelamiento de las Infiltraciones

Para el procesamiento de la información y modelamiento de las infiltraciones a desarrollar se siguieron los siguientes pasos:

4.2.1 Recolección de Datos

La recolección de datos fue realizada en campo y es producto de los sondeos en diamantina realizados (DHC-01, DHC-02, DHC-03, DHC-04, DHC-05, DHC-06 y DHC-07), empleando para ello un registro de ensayo de permeabilidad, el cual fue llenado in situ registrándose los siguientes datos:

- Ubicación del sondeo diamantino.
- Profundidad de perforación.
- Profundidad de nivel freático.
- Tipo de ensayo a realizar de acuerdo al tipo de material, lefranc para suelos ó lugeon para roca.



Figura 6. Instalación de la plataforma de perforación DHC-02, ubicada en el cauce de río.

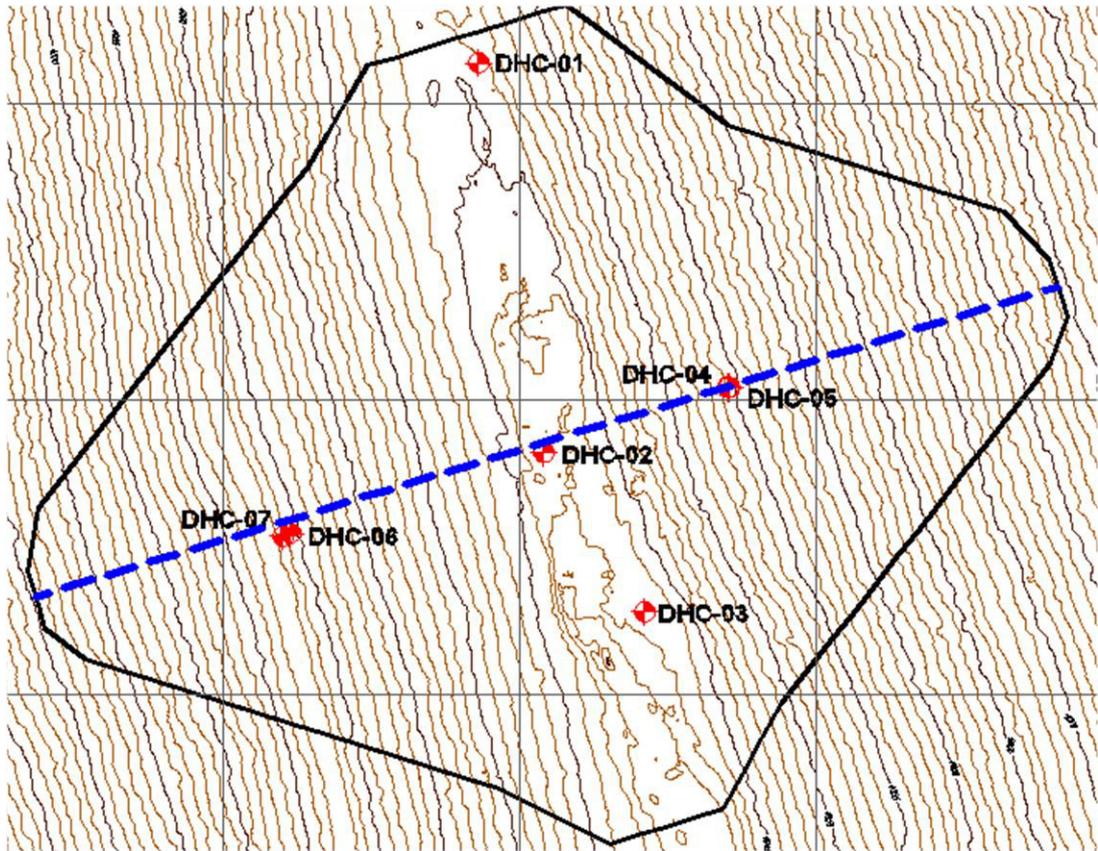


Figura 7. Ubicación de los sondeos en diamantina realizados.

4.2.2 Condiciones de Análisis

En cuanto a las condiciones de análisis a ser consideradas en el modelamiento, se tuvo como premisa la disponibilidad de la información procesada del estudio de geología y geotecnia producto de los trabajos geotécnicos in situ anteriormente descritos, de estos obtenemos la distribución de los diversos materiales presente en la cimentación de la presa, así como de los resultados de las permeabilidades identificadas en cada sondeo diamantino.

Para ello se considera un perfil geotécnico en el eje de presa en el cual se puede identificar los materiales presentes, los resultados de las permeabilidades identificadas, la ubicación de las secciones transversales que se utilizarán en el modelamiento (0+050, 0+095 y 0+140), nivel de agua máximo ordinario (N.A.M.O.) de 4076.28 m.s.n.m. y nivel de corona de la presa de 4078.28 m.s.n.m.

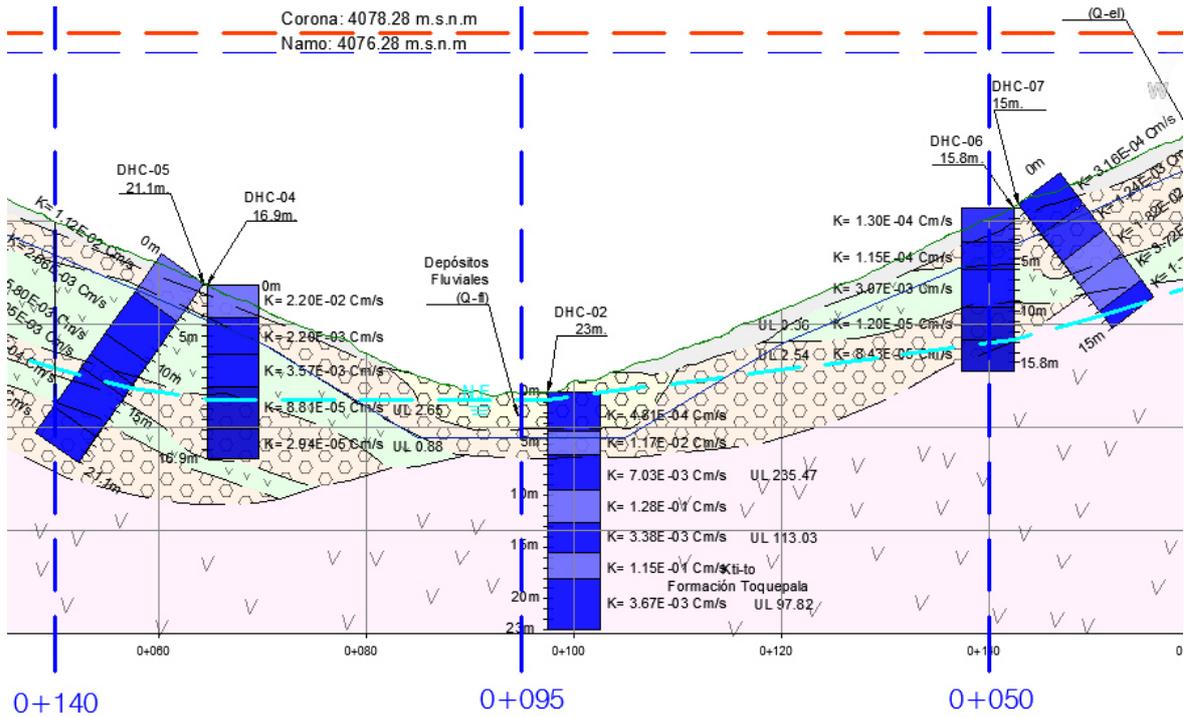


Figura 8. Perfil geotécnico, ubicación de sondeos diamantinos y registros de permeabilidad en la cimentación de la presa.

4.2.3 Modelamiento de Infiltraciones

El modelamiento de las infiltraciones fue realizado utilizando tres secciones transversales representativas de la presa situadas en la margen izquierda (0+140), derecha (0+050) y cauce de la desembocadura de la presa (0+095), considerando para ello la carga hidrostática del Nivel Máximo Ordinario (N.A.M.O.) de 4076.28 m.s.n.m., cimentación de la presa y los parámetros geotécnicos proporcionados (pruebas de permeabilidad – sondeos diamantinos).

Las infiltraciones a través del cuerpo de la presa y su cimentación, se han estimado en base de los resultados obtenidos por metro lineal de la presa, longitud de la cimentación de la presa y distribución lineal de la filtración en función de presión hidrostática a lo largo de la cimentación.

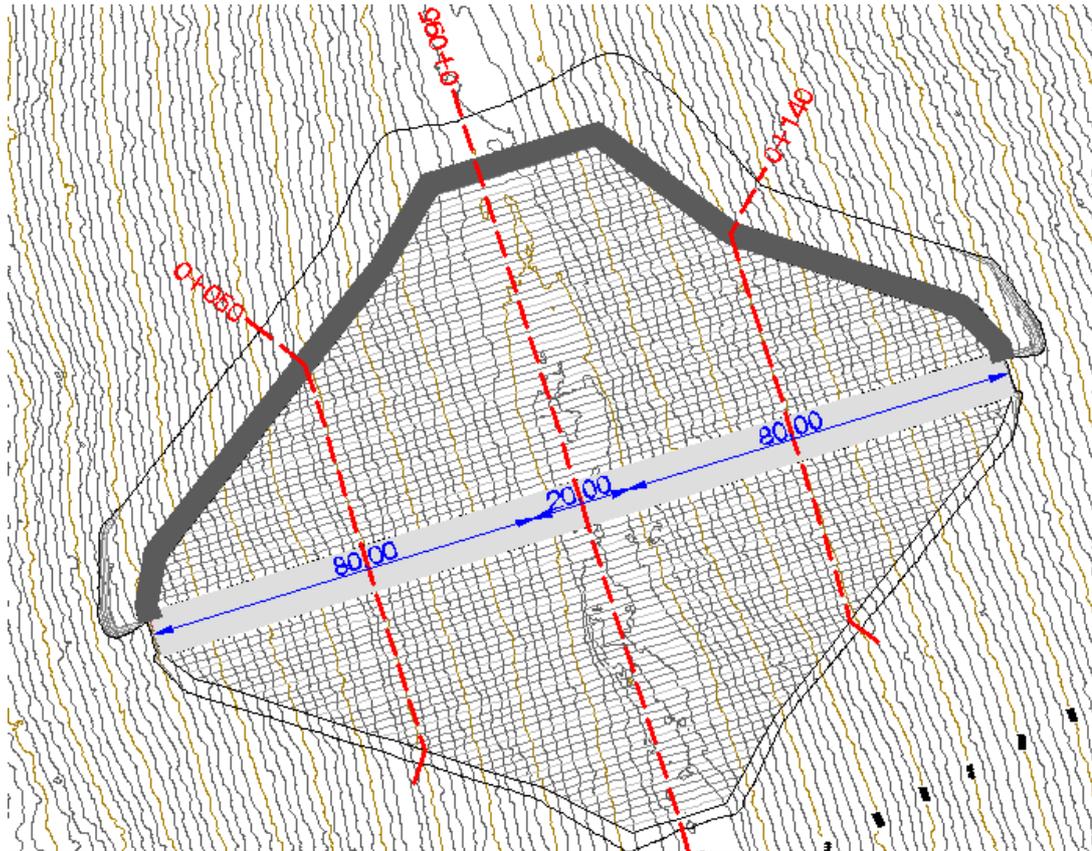


Figura 9. Ubicación de secciones transversales.

Se realizó el modelamiento de infiltraciones mediante el método de elementos finitos utilizando el programa Slide V5.0, Rocscience Inc., Canadá, con los parámetros hidráulicos y de permeabilidad, obtenidos en base de las investigaciones geotécnicas realizadas.

En cuanto a la secuencia de introducción de datos en el software, es la siguiente:

- a) Perfilado de la Sección Transversal en base a la data topográfica de la zona, considerándose el terreno natural y el nivel de cimentación y también la designación de los materiales, los cuales están en función al diseño propio de la presa y a la distribución de los materiales identificados en su cimentación.

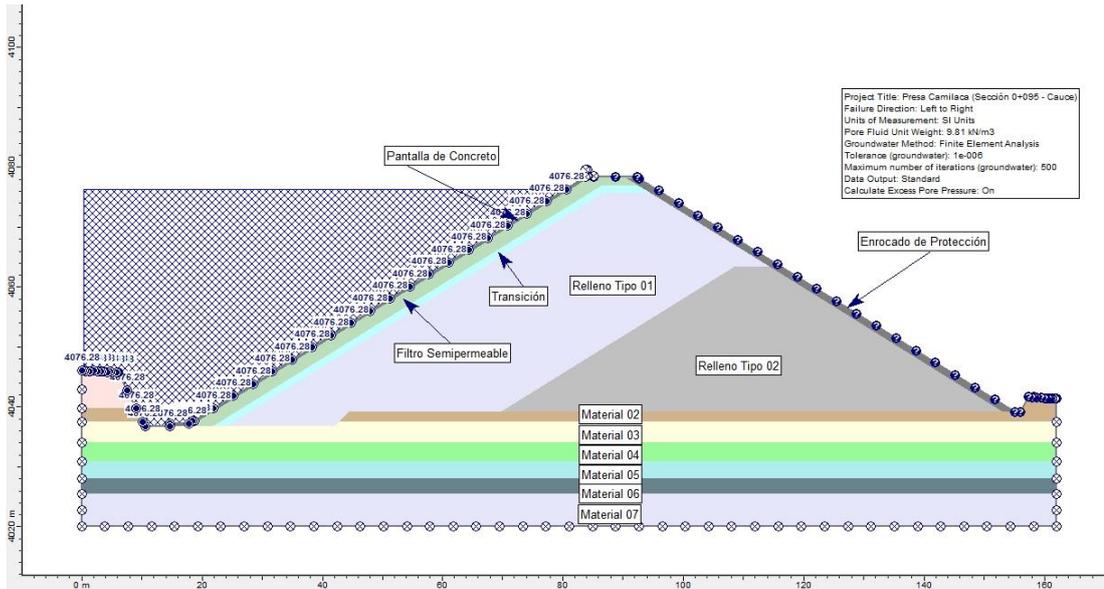


Figura 10. Perfilado de la sección transversal y la designación de los materiales.

- b) Introducción de los coeficientes de permeabilidad de cada material, los coeficientes de permeabilidad son recogidos de los resultados de los registros de ensayos de permeabilidad.

Tabla 2

Coefficientes de Permeabilidad Empleados en el Cuerpo de la Presa

Descripción	Coefficiente de permeabilidad K (m/s)
Concreto	1x10E-12
Filtro Semipermeable	1x10E-08
Transición	1x10E-06
Relleno Tipo 01	2.45x10E-07
Relleno Tipo 02	1x10E-04
Enrocado de Protección	1x10E-02

Nota: Elaboración propia

Tabla 3

*Coeficientes de Permeabilidad Empleados en la Cimentación
Sección 0+050 (Estribo Derecho)*

Descripción	Coeficiente de permeabilidad K (m/s)
Material 01	1.30x10E-06
Material 02	1.15x10E-06
Material 03	3.07x10E-05
Material 04	1.20x10E-07
Material 05	8.43x10E-07

Nota: Elaboración propia

Tabla 4

*Coeficientes de Permeabilidad Empleados en la Cimentación
Sección 0+095 (Cauce de Río)*

Descripción	Coeficiente de permeabilidad K (m/s)
Material 01	4.81x10E-06
Material 02	1.17x10E-04
Material 03	7.03x10E-05
Material 04	1.28x10E-03
Material 05	3.38x10E-05
Material 06	1.15x10E-03
Material 07	3.67x10E-05

Nota: Elaboración propia

Tabla 5

*Coeficientes de Permeabilidad Empleados en la Cimentación
Sección 0+140 (Estribo Izquierdo)*

Descripción	Coeficiente de permeabilidad K (m/s)
Material 01	2.20x10E-04
Material 02	2.20x10E-05
Material 03	3.57x10E-05
Material 04	8.81x10E-07
Material 05	2.94x10E-07

Nota: Elaboración propia

c) Resultados a obtener e información complementaria, los resultados a obtenerse del presente modelamiento son los caudales de infiltración en la cimentación de la presa, sin embargo aprovechando la posibilidad de obtener mayor información gráfica del software como complemento y para mejor entendimiento, se muestran los siguientes resultados:

- Digresión de elementos finitos.
- Redes de flujo.
- Vectores de flujo y caudales de descarga de infiltración.

4.3 Cálculo del Caudal de las Infiltraciones en la Cimentación de la Presa

4.3.1 Sección Transversal 0+050 (Estribo Derecho)

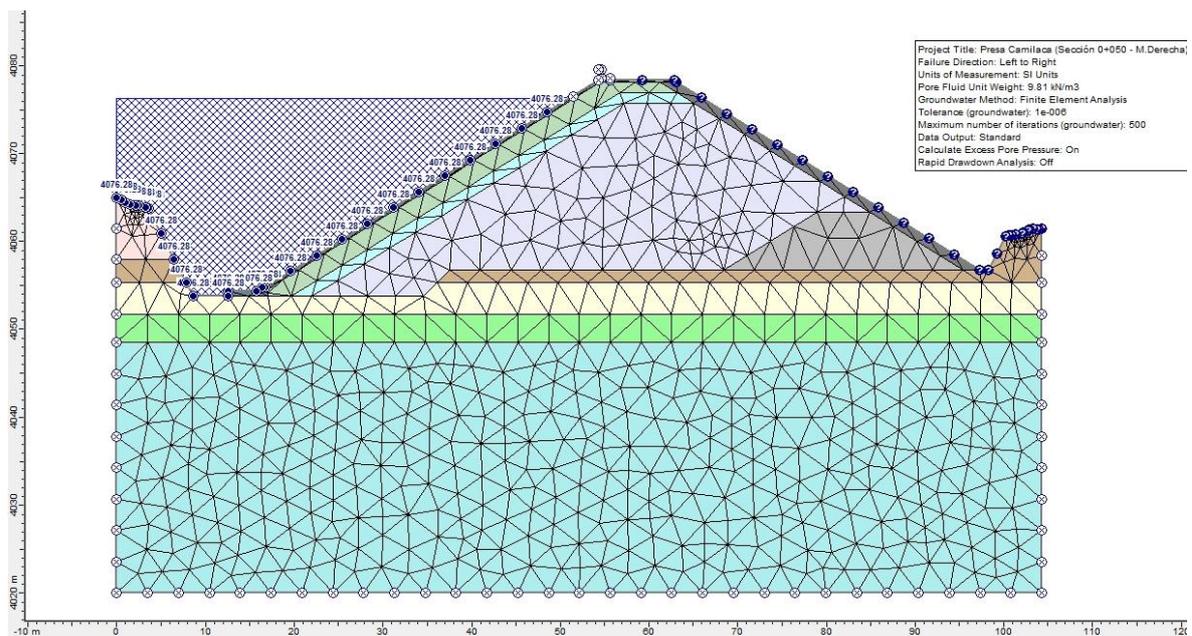


Figura 11. Digresión de elementos finitos de la Sección Transversal 0+050 (Estribo derecho)

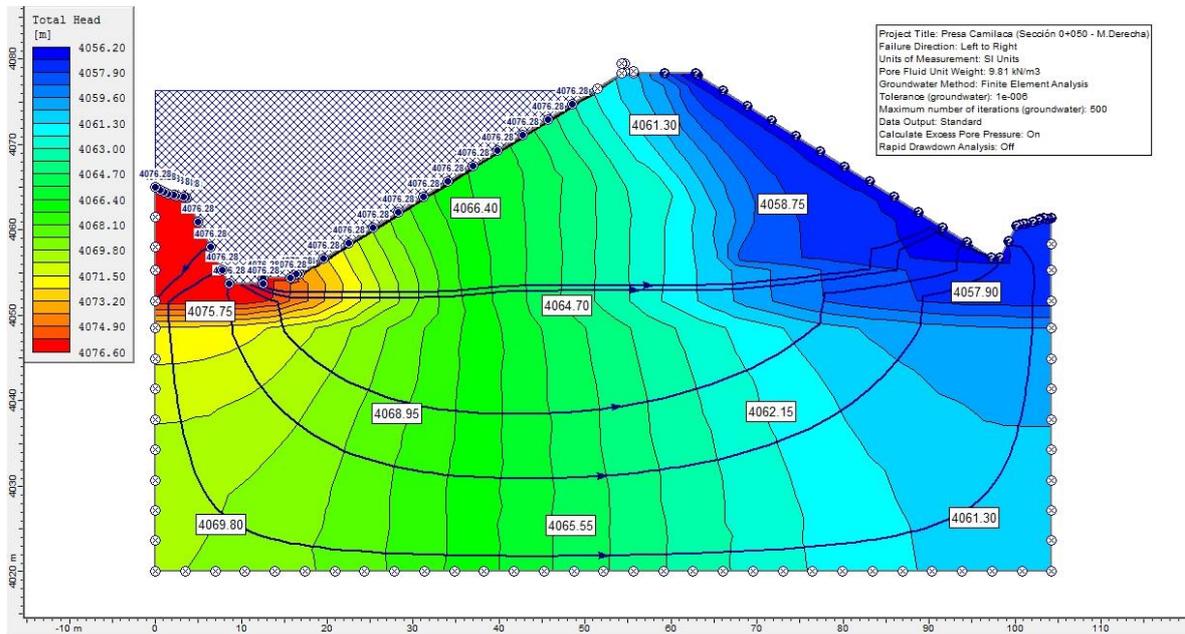


Figura 12. Redes de flujo de la Sección Transversal 0+050 (Estribo derecho)

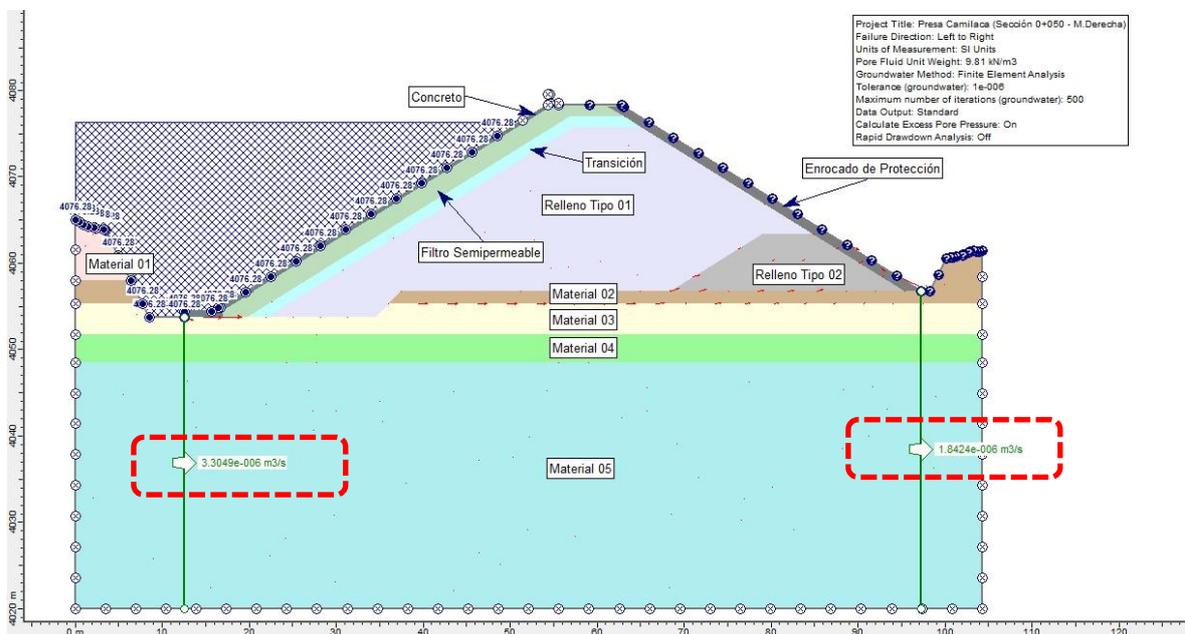


Figura 13. Vectores de flujo y caudal de infiltración de la Sección Transversal 0+050 (Estribo derecho).

4.3.2 Sección Transversal 0+095 (Cauce de Río)

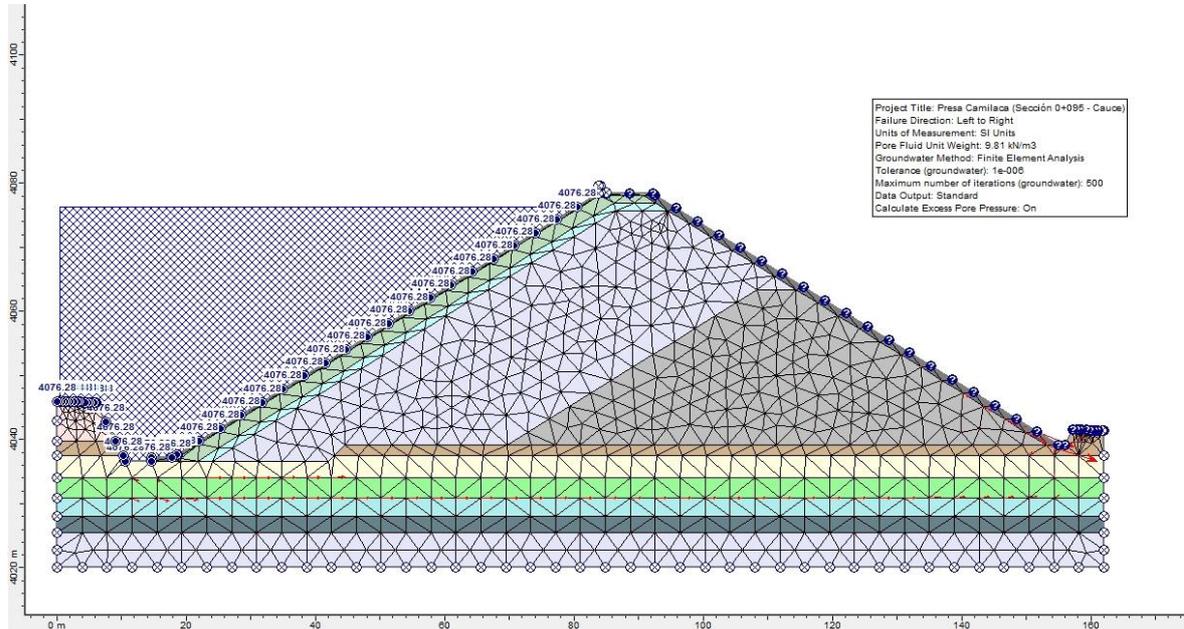


Figura 14. Digresión de elementos finitos de la Sección Transversal 0+095 (Cauce de río)

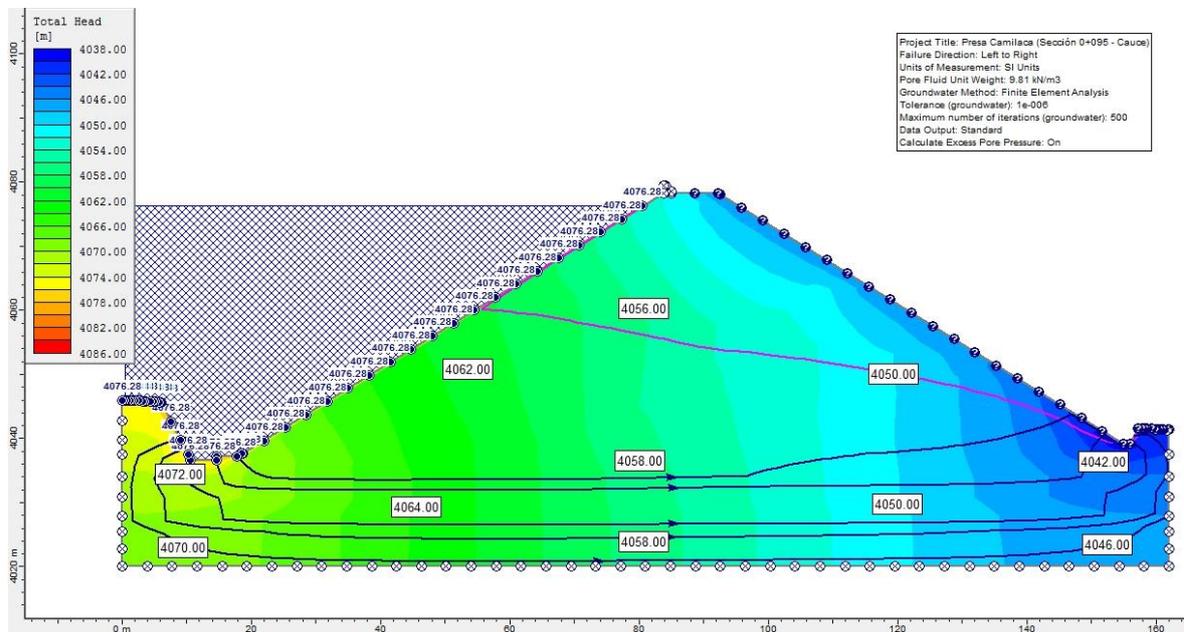


Figura 15. Redes de flujo de la Sección Transversal 0+095 (Cauce de río)

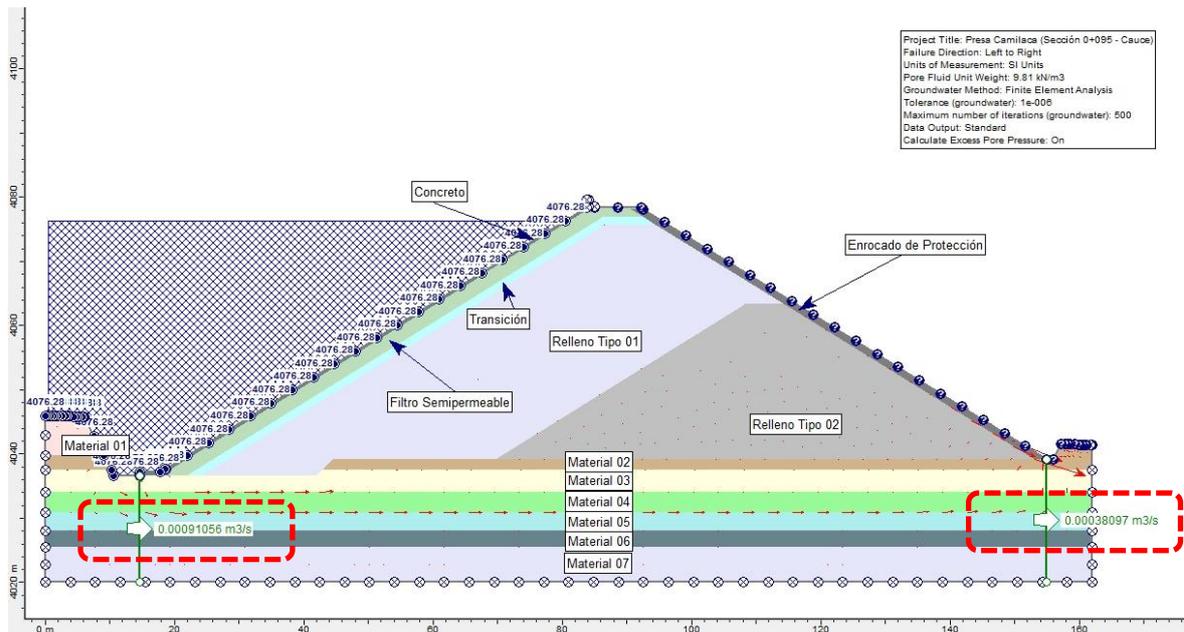


Figura 16. Vectores de flujo y caudal de infiltración de la Sección Transversal 0+095 (Cauce de río)

4.3.3 Sección Transversal 0+140 (Estribo izquierdo)

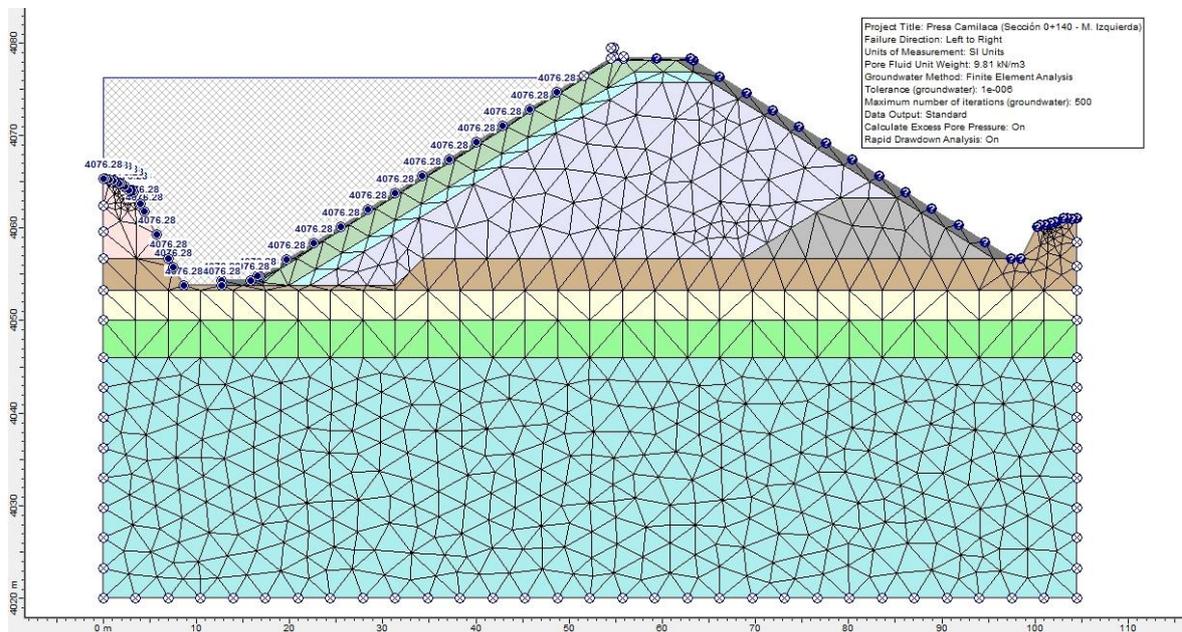


Figura 17. Digresión de elementos finitos de la Sección Transversal 0+140 (estribo izquierdo)

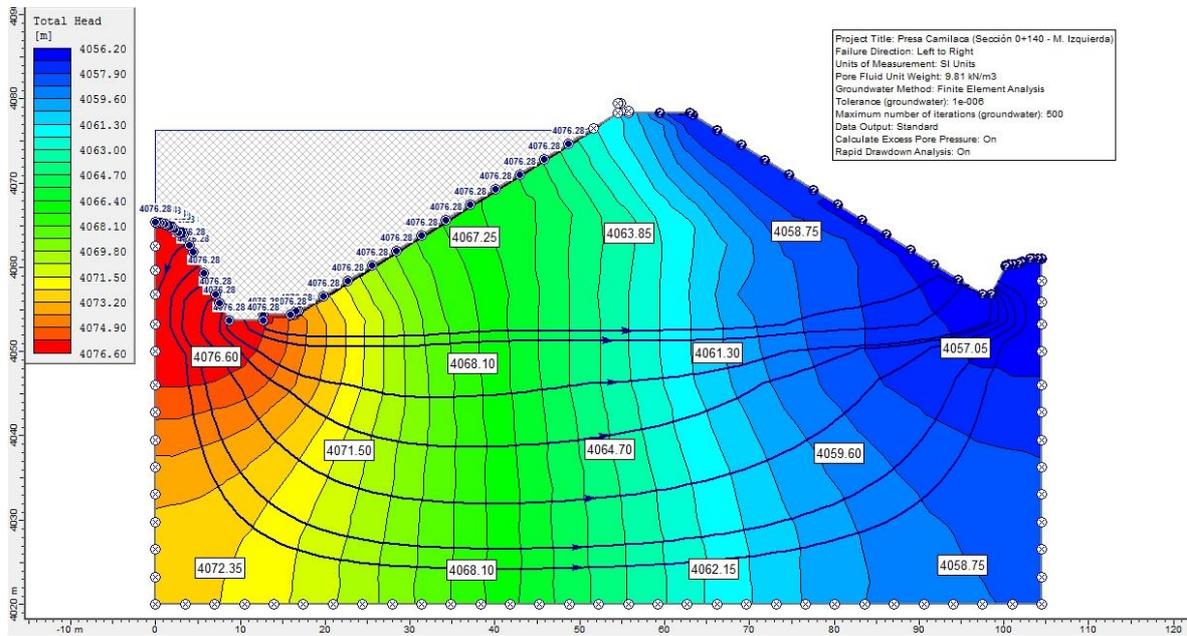


Figura 18. Redes de flujo de la Sección Transversal 0+140 (estribo izquierdo)

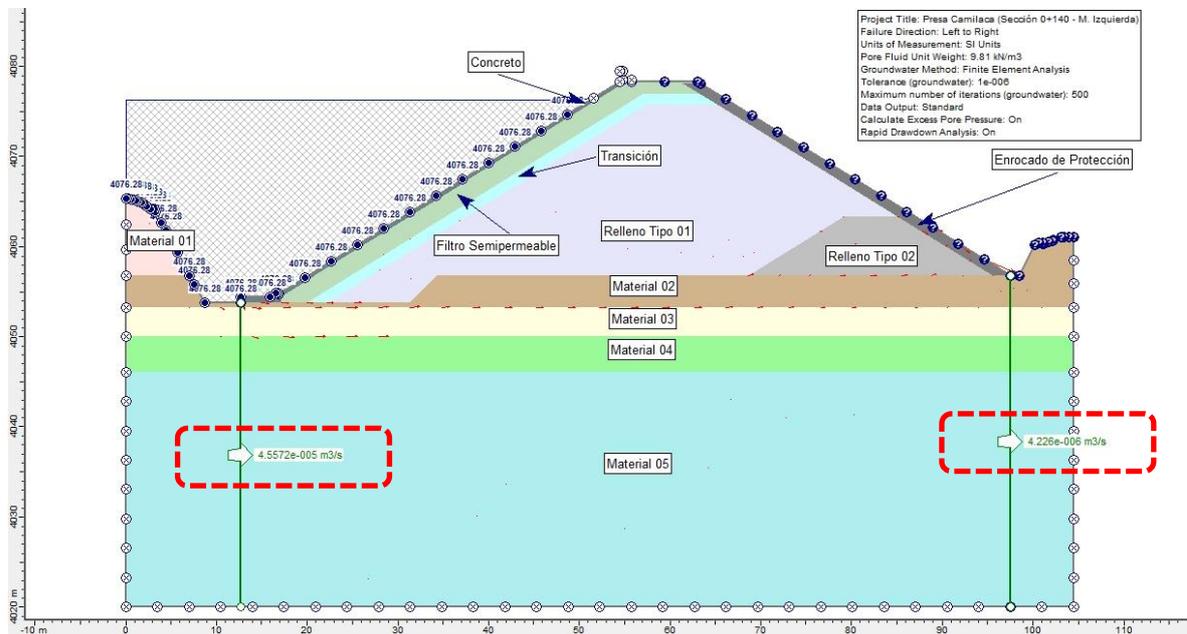


Figura 19. Vectores de flujo y caudal de infiltración de la Sección Transversal 0+140 (estribo izquierdo)

Para el cálculo del caudal de infiltración que se producirá en la cimentación de la presa, se utiliza los caudales estimados obtenidos del software por metro lineal al pie del talud aguas arriba y aguas abajo, también se ha considerado en el cálculo la longitud transversal de cada sección transversal (ver figura 09). A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 6

Caudales de Infiltración en la Sección Transversal 0+050 (Estribo Derecho)

Condiciones	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Caudal Estimado	0.00000330 m ³ /seg/m	0.00000184 m ³ /seg/m
Longitud Transversal	80.00 m	80.00 m
Caudal de Pérdida Bajo la Presa	0.00026439 m ³ /seg	0.00014739 m ³ /seg
	0.26438460 lt/seg	0.14738787 lt/seg
Caudal de Pérdida Anual	8,337.87 m ³ /año	4,648.15 m ³ /año
	0.008338 MMC	0.004648 MMC

Nota: Elaboración propia

Tabla 7

Caudales de Infiltración en la Sección Transversal 0+095 (Cauce de Río)

Condiciones	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Caudal Estimado	0.00091056 m ³ /seg/m	0.00038097 m ³ /seg/m
Longitud Transversal	20.00 m	20.00 m
Caudal de Pérdida Bajo la Presa	0.01821120 m ³ /seg	0.00761940 m ³ /seg
	18.21069010 lt/seg	7.61918666 lt/seg
Caudal de Pérdida Anual	574,308.40 m ³ /año	240,285.40 m ³ /año
	0.574308 MMC	0.240285 MMC

Nota: Elaboración propia

Tabla 8*Caudales de Infiltración en la Sección Transversal 0+140 (Estribo Izquierdo)*

Condiciones	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Caudal Estimado	0.00004557 m ³ /seg/m	0.00000423 m ³ /seg/m
Longitud Transversal	80.00 m	80.00 m
Caudal de Pérdida Bajo la Presa	0.00364576 m ³ /seg	0.00033808 m ³ /seg
	3.64565792 lt/seg	0.33807053 lt/seg
Caudal de Pérdida Anual	114,972.69 m ³ /año	10,661.69 m ³ /año
	0.114973 MMC	0.010662 MMC

Nota: Elaboración propia

Tabla 9*Caudales de Infiltración Total Bajo la Cimentación de la Presa*

Condiciones	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Caudal de Pérdida Bajo la Presa	0.02212135 m ³ /seg	0.00810487 m ³ /seg
	22.12073262 lt/seg	8.10464507 lt/seg
Caudal de Pérdida Anual	697,618.96 m ³ /año	255,595.24 m ³ /año
	0.697619 MMC	0.255595 MMC

Nota: Elaboración propia

Como resultados tenemos que en la cimentación de la presa se pueden producir infiltraciones en el orden de 697,618.96 m³/año en el pie del talud aguas arriba y 255,595.24 m³/año en el pie del talud aguas abajo, siendo este último valor el indicativo final a tener en cuenta.

CONCLUSIONES

- La situación actual de la zona presenta condiciones favorables e idóneas para la construcción de una presa desde el punto de vista topográfico, hidrológico y geológico geotécnico, así mismo se ha proporcionado información representativa y relevante para el desarrollo del presente trabajo de investigación, siendo el principal el referente a los registros de permeabilidad producto de los sondeos en diamantina hecho in situ.
- Con respecto al diseño del modelamiento de las infiltraciones, se tuvieron en consideración procedimientos basados en experiencias y trabajos similares, respetando una secuencia lógica desde la recolección de datos producto de los 07 sondeos en diamantina in situ; seguida de las condiciones de análisis en donde se tiene en cuenta los resultados de los registros de las permeabilidades, información geotécnica del eje de presa, ubicación de las secciones transversales y con toda esta data poder introducirla al software especializado Slide V5.0.
- En cuanto al desarrollo del cálculo del caudal de las infiltraciones en la cimentación de la presa, se obtuvieron valores en el orden de 697,618.96 m³/año en el pie del talud aguas arriba y 255,595.24 m³/año en el pie del talud aguas abajo, siendo este último valor el indicativo final a tener en cuenta, el cual demuestra una pérdida moderada por infiltraciones considerando que el volumen total útil de almacenamiento de la presa según su diseño es de 2.35 MMC ó 2'350,000.00 m³/año, es decir, el 10.88 % del recurso hídrico almacenado se pierde anualmente por infiltración.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda extender el presente trabajo de investigación a fin de que pueda ser aún más profundizado en su análisis y procedimientos y luego poder utilizarlo en futuros proyectos similares.
- Resulta de suma importancia recomendar que este tipo de trabajos pueda ser implementado en el diseño de estructuras de gran envergadura como por ejemplo en una presa de almacenamiento hídrico e inclusive en presas relaves siendo las infiltraciones en este último tipo de presa un factor muy nocivo que contraviene con aspectos medio ambientales, que lamentablemente no son percibidos visualmente dado que esta contaminación se produce a nivel del subsuelo contaminando afluentes de agua subterránea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYAMAMANI, Miguel. Contratación y proceso constructivo de la presa Chalhuanca, Arequipa. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. 81 pp. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/15347>
- CATUNTA, Elisván. Estudio comparativo del diseño de una presa de enrocado con pantalla de concreto versus la presa de tierra con núcleo arcilloso en la quebrada Juiñas, distrito Lloque - región Moquegua. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2014. 180 pp. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2803>
- COLLADO, Cesar. Inyección e infiltración en presas de relave, aplicación de la presa Las Gordas. Tesis (Magister en Geotecnia). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. 140 pp. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3199>
- CORDERO, Lismary. Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2017. 106 pp. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/8668>
- GAIBOR, Mauricio. Estudio del flujo generado por la ruptura de un dique a causa de infiltraciones. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012. 215 pp. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/519>
- MORÁN, Rafael. Mejora de la seguridad de las presas de escollera frente a percolación accidental mediante protecciones tipo Repié. Tesis (Doctor en ingeniería de Caminos, Canales y Puertos). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2013. 384 pp. Disponible en: <http://oa.upm.es/14833/>
- PERALES, Josue y SABOYA, Robert. Influencia del filtro tipo chimenea mediante modelamiento bidimensional para una presa de material homogéneo extraído de la cantera Tres Tomas. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2018. 222 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/32491>

- PÉREZ, Miguel. Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región Tacna. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018. 95 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/10344>
- SANTOS, Yinella. Análisis de filtraciones en cuerpo y cimentación de presas de materiales sueltos, caso presa río Grande, Chone, Manabí. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2018. 116 pp. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29919>

ANEXOS

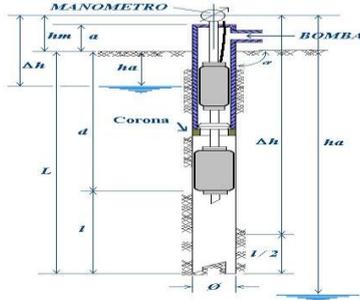
ANEXO 01

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-01)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-01	TRAMO DE ENSAYO DE	18.10	A	20.10
INCLINACI:	90 °	FECHA			02:50
CORDENADAS		HORA INICIO			04:10
E :	353404	TRAMO DE ENSAYO			2.00
N :	8099957	PROF. DE PERFORACION			20.10
ALTITUD :	3952.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			0.80

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.75 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 0.80 m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA 1.55 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 18.10 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 20.10 m
- α = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh 1.55 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 2.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / PEF)

tiempo en min	6.6 psi 0.5 Bar		13.2 psi 0.9 Bar		19.8 psi 1.4 Bar		13.2 psi 0.9 Bar		6.6 psi 0.5 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	4050.00		4370.00		4780.00		5650.00		6460.00	
1	4075.90	25.90	4406.40	36.40	4865.00	85.00	5729.00	79.00	6530.00	70.00
2	4101.70	25.80	4442.70	36.30	4952.00	87.00	5809.00	80.00	6601.00	71.00
3	4127.50	25.80	4479.00	36.30	5038.00	86.00	5888.00	79.00	6671.00	70.00
4	4153.20	25.70	4515.40	36.40	5123.00	85.00	5967.00	79.00	6742.00	71.00
5	4178.90	25.70	4551.80	36.40	5210.00	87.00	6046.00	79.00	6813.00	71.00
6	4204.70	25.80	4588.20	36.40	5296.00	86.00	6125.00	79.00	6884.00	71.00
7	4230.50	25.80	4624.60	36.40	5382.00	86.00	6204.00	79.00	6955.00	71.00
8	4256.30	25.80	4661.00	36.40	5468.00	86.00	6283.00	79.00	7026.00	71.00
9	4282.00	25.70	4697.30	36.30	5553.90	85.90	6362.00	79.00	7097.00	71.00
10	4307.80	25.80	4733.70	36.40	5639.90	86.00	6441.00	79.00	7168.00	71.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	257.80	363.70	859.90	791.00	708.00
q (l/min/m)	25.78	36.37	85.99	79.10	70.80
Q (l/min/m)	12.89	18.19	43.00	39.55	35.40
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah'/10)	0.155	0.16	0.16	0.16	0.16
P _{EF} (kg/cm ²)	0.655	1.06	1.56	1.06	0.66
UL	196.79	172.37	276.50	374.88	540.46



TIPO DE FLUJO : EROSION
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 540.46 UL
PERMEABILIDAD K : 1.61E-02 cm/s

V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

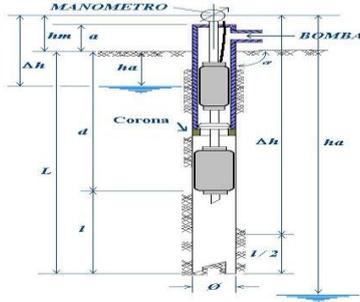
ANEXO 02

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-02)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-02	TRAMO DE ENSAYO DE	6.00	A	8.00
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	01:10 p.m.
CORDENADAS				HORA FIN	02:30 p.m.
E :	353404	TRAMO DE ENSAYO			2.00
N :	8999891	PROF. DE PERFORACION			8.00
ALTITUD :	3952.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			0.70

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



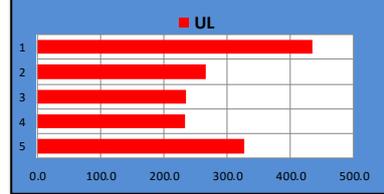
hm = ALTURA DEL MANOMETRO	0.70	m
a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.40	m
ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.70	m
Ah = SOBRECARGA HIDRAULICA	1.40	m
d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	6.00	m
L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION	8.00	m
a = INCLINACION C/HORIZONTAL	90 °	
Ah' = Ah CORREGIDA = Sen a x Ah	1.40	m
l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	2.00	m
Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	11.10	cm
e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	9.60	cm
RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75%	8	
PM = PRESION MANOMETRICA		
PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Ap = PERDIDAS DE CARGA		
q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / PEF)		

tiempo en min	P1 2.6 psi 0.2 Bar		P2 5.2 psi 0.4 Bar		P3 7.9 psi 0.6 Bar		P2 5.2 psi 0.4 Bar		P1 2.6 psi 0.2 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)								
0	8400.00		8707.00		9074.00		9434.00		9701.00	
1	8429.60	29.60	8735.80	28.80	9108.90	34.90	9459.20	25.20	9723.30	22.30
2	8459.10	29.50	8764.70	28.90	9143.70	34.80	9484.30	25.10	9745.50	22.20
3	8488.50	29.40	8793.40	28.70	9178.50	34.80	9509.50	25.20	9767.80	22.30
4	8518.00	29.50	8822.30	28.90	9213.50	35.00	9534.70	25.20	9790.10	22.30
5	8547.50	29.50	8851.10	28.80	9248.30	34.80	9559.80	25.10	9812.40	22.30
6	8577.10	29.60	8879.90	28.80	9283.10	34.80	9584.90	25.10	9834.70	22.30
7	8606.60	29.30	8908.70	28.80	9318.00	34.90	9610.10	25.20	9857.00	22.30
8	8636.20	29.60	8937.60	28.90	9352.80	34.80	9635.20	25.10	9879.30	22.30
9	8665.70	29.50	8966.40	28.80	9387.70	34.90	9660.30	25.10	9901.60	22.30
10	8695.30	29.60	8995.20	28.80	9422.50	34.80	9685.40	25.10	9923.90	22.30
11										
12										
13										
14										
15										
qt (l/min)	295.30		288.20		348.50		251.40		222.90	
q (l/min)	29.53		28.82		34.85		25.14		22.29	
Q (l/min/m)	14.77		14.41		17.43		12.57		11.15	
Dp (kg/cm ²)	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
CH (Ah'/10)	0.140		0.14		0.14		0.14		0.14	
P _{EF} (kg/cm ²)	0.340		0.54		0.74		0.54		0.34	
UL	434.26		266.85		235.47		232.78		327.79	

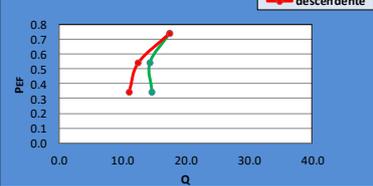
$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON



REPRESENTACION GRAFICA



TIPO DE FLUJO : TURBULENTO
CONDICION : Muy permeable

UNIDAD DE LUGEON : 235.47 UL
PERMEABILIDAD K : 7.03E-03 cm/s

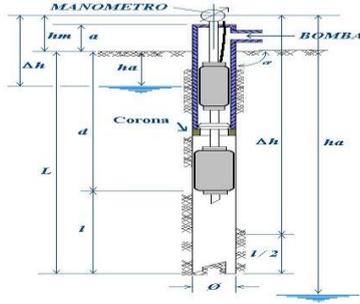
V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-02	TRAMO DE ENSAYO DE	12.60	A	14.60
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	08:55 a.m.
CORDENADAS				HORA FIN	09:10 a.m.
E :	353404	TRAMO DE ENSAYO			2.00 m.
N :	8999891	PROF. DE PERFORACION			14.60 m.
ALTITUD :	3952.0 m.s.n.l.m.	PROF. NIVEL FREATICO			0.70 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.70 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 0.70 m
- Ah = SOBRECARGA HIDRAULICA 1.40 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 12.60 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 14.60 m
- a = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Ah' = Ah CORREGIDA = Sen a x Ah 1.40 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 2.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A.SI ES MAYOR DE 75% Y B. SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	4.8 psi 0.3 Bar		9.6 psi 0.7 Bar		14.4 psi 1.0 Bar		9.6 psi 0.7 Bar		4.8 psi 0.3 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	10036.00		10136.00		10355.00		10625.00		10850.00	
1	10049.00	13.00	10155.60	19.60	10380.70	25.70	10647.30	22.30	10867.30	17.30
2	10062.10	13.10	10175.30	19.70	10406.50	25.80	10669.50	22.20	10884.60	17.30
3	10075.10	13.00	10194.90	19.60	10432.30	25.80	10691.70	22.20	10902.00	17.40
4	10088.10	13.00	10214.60	19.70	10458.00	25.70	10714.00	22.30	10919.30	17.30
5	10101.20	13.10	10234.20	19.60	10483.80	25.80	10736.20	22.20	10936.60	17.30
6	10114.20	13.00	10253.80	19.60	10509.60	25.80	10758.40	22.20	10954.00	17.40
7	10127.30	13.10	10273.40	19.60	10535.30	25.70	10780.60	22.20	10971.30	17.30
8	10140.30	13.00	10293.00	19.60	10561.10	25.80	10802.90	22.30	10988.60	17.30
9	10153.30	13.00	10312.60	19.60	10586.90	25.80	10825.10	22.20	11005.90	17.30
10	10166.30	13.00	10332.20	19.60	10612.70	25.80	10847.30	22.20	11023.20	17.30
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	130.30	196.20	257.70	222.30	173.20
q (l/min)	13.03	19.62	25.77	22.23	17.32
Q (l/min/m)	6.51	9.81	12.89	11.12	8.66
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah'/10)	0.140	0.14	0.14	0.14	0.14
P _{EF} (kg/cm ²)	0.440	0.84	1.14	0.84	0.44
UL	148.07	116.79	113.03	132.32	196.82



TIPO DE FLUJO : TURBULENTO
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 113.03 UL
PERMEABILIDAD K : 3.38E-03 cm/s

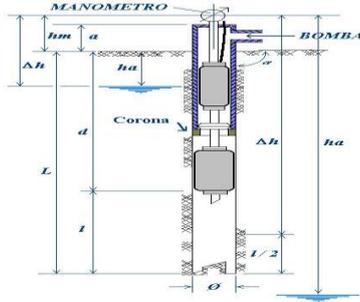
V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-02	TRAMO DE ENSAYO DE	18.00	A	23.00
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	03:10 p.m.
CORDENADAS				HORA FIN	03:30 p.m.
E :	353404	TRAMO DE ENSAYO			5.00 m.
N :	8999891	PROF. DE PERFORACION			23.00 m.
ALTITUD :	3952.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			0.70 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



hm = ALTURA DEL MANOMETRO	0.70 m
a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.40 m
ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.70 m
Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA	1.40 m
d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	18.00 m
L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION	23.00 m
α = INCLINACION C/HORIZONTAL	1.40 m
Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	90 °
l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	11.10 cm
Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	5.00 m
e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	11.10 cm
RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75%	9.60 cm
PM = PRESION MANOMETRICA	8
PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO	
Ap = PERDIDAS DE CARGA	
q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO	
qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO	
Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO	
UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / PEF)	

tiempo en min	P1 7.5 psi 0.5 Bar		P2 15.1 psi 1.1 Bar		P3 22.6 psi 1.6 Bar		P2 15.1 psi 1.1 Bar		P1 7.5 psi 0.5 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	11738.00		12509.00		13359.00		14226.00		15080.00	
1	11814.00	76.00	12591.00	82.00	13445.00	86.00	14303.00	77.00	15152.00	72.00
2	11889.00	75.00	12673.00	82.00	13530.00	85.00	14380.00	77.00	15225.00	73.00
3	11963.00	74.00	12756.00	83.00	13615.00	85.00	14456.00	76.00	15298.00	73.00
4	12038.00	75.00	12838.00	82.00	13700.00	85.00	14533.00	77.00	15371.00	73.00
5	12113.00	75.00	12920.00	82.00	13785.00	85.00	14610.00	77.00	15443.00	72.00
6	12188.00	75.00	13002.00	82.00	13870.00	85.00	14687.00	77.00	15515.00	72.00
7	12263.00	75.00	13084.00	82.00	13955.00	85.00	14764.00	77.00	15587.00	72.00
8	12338.00	75.00	13166.00	82.00	14040.00	85.00	14841.00	77.00	15659.00	72.00
9	12413.00	75.00	13248.00	82.00	14125.00	85.00	14918.00	77.00	15731.00	72.00
10	12488.00	75.00	13330.00	82.00	14210.00	85.00	14995.00	77.00	15803.00	72.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	750.00	821.00	851.00	769.00	723.00
q (l/min/m)	75.00	82.10	85.10	76.90	72.30
Q (l/min/m)	15.00	16.42	17.02	15.38	14.46
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh'/10)	0.140	0.14	0.14	0.14	0.14
P _{EF} (kg/cm ²)	0.640	1.24	1.74	1.24	0.64
UL	234.38	132.42	97.82	124.03	225.94



TIPO DE FLUJO : TURBULENTO
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 97.82 UL
PERMEABILIDAD K : 3.67E-03 cm/s

V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

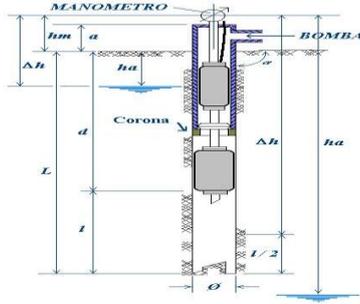
ANEXO 03

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-03)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-03	TRAMO DE ENSAYO DE	2.90	5.90
INCLINACI:	90 °	FECHA		02:10 p.m.
CORDENADAS		HORA INICIO		02:30 p.m.
E :	353421	TRAMO DE ENSAYO		3.00 m.
N :	8099864	PROF. DE PERFORACION		5.90 m.
ALTITUD :	4039.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO		0.90 m.

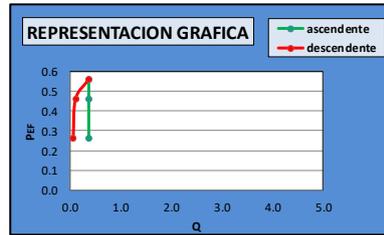
PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.70 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 0.90 m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA 1.60 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 2.90 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 5.90 m
- a = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen a x Δh 1.60 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A.SI ES MAYOR DE 75% Y B. SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	P1 1.9 psi 0.1 Bar		P2 3.9 psi 0.3 Bar		P3 5.8 psi 0.4 Bar		P2 3.9 psi 0.3 Bar		P1 1.9 psi 0.1 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)								
0	14132.60		14151.00		14170.00		14196.00		14209.00	
1	14133.70	1.10	14152.20	1.20	14171.20	1.20	14196.40	0.40	14209.10	0.10
2	14134.70	1.00	14153.30	1.10	14172.30	1.10	14196.70	0.30	14209.30	0.20
3	14135.90	1.20	14154.40	1.10	14173.50	1.20	14197.00	0.30	14209.60	0.30
4	14137.00	1.10	14155.50	1.10	14174.70	1.20	14197.30	0.30	14209.90	0.30
5	14138.10	1.10	14156.60	1.10	14175.80	1.10	14197.70	0.40	14210.10	0.20
6	14139.20	1.10	14157.70	1.10	14176.90	1.10	14198.10	0.40	14210.30	0.20
7	14140.30	1.10	14158.80	1.10	14178.00	1.10	14198.50	0.40	14210.50	0.20
8	14141.40	1.10	14159.90	1.10	14179.20	1.20	14198.80	0.30	14210.70	0.20
9	14142.50	1.10	14161.00	1.10	14180.30	1.10	14199.20	0.40	14210.90	0.20
10	14143.60	1.10	14162.10	1.10	14181.40	1.10	14199.50	0.30	14211.10	0.20
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	11.00	11.10	11.40	3.50	2.10
q (l/min)	1.10	1.11	1.14	0.35	0.21
Q (l/min/m)	0.37	0.37	0.38	0.12	0.07
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah'/10)	0.160	0.16	0.16	0.16	0.16
P _{EF} (kg/cm ²)	0.260	0.46	0.56	0.46	0.26
UL	14.10	8.04	6.79	2.54	2.69



TIPO DE FLUJO : **RELLENO**
CONDICION : **Impermeable**

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : **2.54** UL
PERMEABILIDAD K : **8.43E-05** cm/s

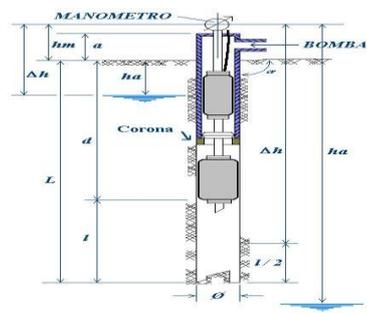
V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-03	TRAMO DE ENSAYO DE	6.70	A	9.70
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	08:55 a.m.
CORDENADAS				HORA FIN	09:10 a.m.
E :	353421	TRAMO DE ENSAYO			3.00 m.
N :	8099864	PROF. DE PERFORACION			9.70 m.
ALTITUD :	4039.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			0.90 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJEDEPRESA



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.80 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 0.90 m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA 1.70 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 6.70 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 9.70 m
- a = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen a x Δh 1.70 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	P1 3.2 psi 0.2 Bar		P2 6.4 psi 0.5 Bar		P3 9.5 psi 0.7 Bar		P2 6.4 psi 0.5 Bar		P1 3.2 psi 0.2 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)								
0	14387.00		14418.50		14461.40		14492.60		14522.40	
1	14388.70	1.70	14420.70	2.20	14463.50	2.10	14494.30	1.70	14523.90	1.50
2	14390.30	1.60	14423.00	2.30	14465.50	2.00	14496.00	1.70	14525.40	1.50
3	14391.90	1.60	14425.20	2.20	14467.50	2.00	14497.80	1.80	14526.90	1.50
4	14393.60	1.70	14427.40	2.20	14469.50	2.00	14499.40	1.60	14528.40	1.50
5	14395.20	1.60	14429.60	2.20	14471.50	2.00	14501.10	1.70	14529.90	1.50
6	14396.80	1.60	14431.70	2.10	14473.50	2.00	14502.80	1.70	14531.40	1.50
7	14398.50	1.70	14433.90	2.20	14475.50	2.00	14504.50	1.70	14532.90	1.50
8	14400.10	1.60	14436.10	2.20	14477.50	2.00	14506.20	1.70	14534.40	1.50
9	14401.80	1.70	14438.30	2.20	14479.50	2.00	14507.90	1.70	14535.90	1.50
10	14403.40	1.60	14440.50	2.20	14481.50	2.00	14509.60	1.70	14537.40	1.50
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	16.40	22.00	20.10	17.00	15.00
q (l/min)	1.64	2.20	2.01	1.70	1.50
Q (l/min/m)	0.55	0.73	0.67	0.57	0.50
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah ³ /10)	0.170	0.17	0.17	0.17	0.17
P _{EF} (kg/cm ²)	0.370	0.67	0.87	0.67	0.37
UL	14.77	10.95	7.70	8.46	13.51



TIPO DE FLUJO : TURBULENTO
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

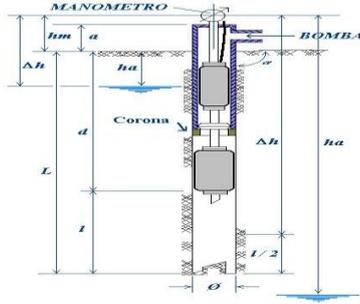
UNIDAD DE LUGEON : 7.70 UL
PERMEABILIDAD K : 2.56E-04 cm/s

_____ V"B" OPERADOR _____ V"B" SUPERVISOR _____

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-03	TRAMO DE ENSAYO DE	9.50 A	12.50
INCLINACION :	90 °	FECHA		03-10 p.m.
CORDENADAS		HORA INICIO		03-30 p.m.
E :	353421	TRAMO DE ENSAYO		3.00 m.
N :	8099864	PROF. DE PERFORACION		12.50 m.
ALTITUD :	4039.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO		0.90 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.80 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 0.90 m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA 1.70 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 9.50 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 12.50 m
- α = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh 1.70 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / PEF)

tiempo en min	P1 4.1 psi 0.3 Bar		P2 8.2 psi 0.6 Bar		P3 12.3 psi 0.9 Bar		P2 8.2 psi 0.6 Bar		P1 4.1 psi 0.3 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	14566.00		14775.50		15027.00		15364.00		15648.00	
1	14586.10	20.10	14800.90	25.40	15058.80	31.80	15391.30	27.30	15673.10	25.10
2	14606.10	20.00	14825.40	24.50	15090.70	31.90	15418.30	27.00	15698.30	25.20
3	14626.20	20.10	14849.90	24.50	15122.50	31.80	15445.40	27.10	15723.30	25.00
4	14646.20	20.00	14874.40	24.50	15154.30	31.80	15472.50	27.10	15748.30	25.00
5	14666.20	20.00	14899.00	24.60	15186.00	31.70	15499.60	27.10	15773.30	25.00
6	14686.20	20.00	14923.60	24.60	15217.80	31.80	15526.70	27.10	15798.30	25.00
7	14706.20	20.00	14948.10	24.50	15249.60	31.80	15553.80	27.10	15823.30	25.00
8	14726.30	20.10	14972.60	24.50	15281.40	31.80	15580.90	27.10	15848.30	25.00
9	14746.30	20.00	14997.10	24.50	15313.20	31.80	15608.00	27.10	15873.30	25.00
10	14766.30	20.00	15021.60	24.50	15345.00	31.80	15635.10	27.10	15898.30	25.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	200.30	246.10	318.00	271.10	250.30
q (l/min)	20.03	24.61	31.80	27.11	25.03
Q (l/min/m)	6.68	8.20	10.60	9.04	8.34
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah ³ /10)	0.170	0.17	0.17	0.17	0.17
P _{EF} (kg/cm ²)	0.470	0.77	1.07	0.77	0.47
UL	142.06	106.54	99.07	117.36	177.52



TIPO DE FLUJO : TURBULENTO
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

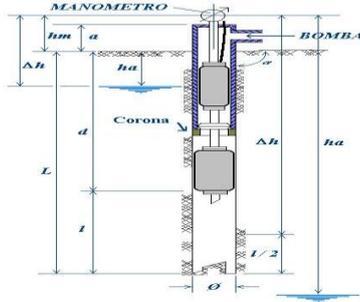
UNIDAD DE LUGEON : 99.07 UL
PERMEABILIDAD K : 3.29E-03 cm/s

V"B" OPERADOR V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-03	TRAMO DE ENSAYO DE	13.40	A	16.40
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	03:10 p.m.
CORDENADAS				HORA FIN	03:30 p.m.
E :	353421	TRAMO DE ENSAYO			3.00
N :	8099864	PROF. DE PERFORACION			16.40
ALTITUD :	4039.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			0.90

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJEDEPRESA



hm = ALTURA DEL MANOMETRO	0.80	m
a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.40	m
ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.90	m
Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA	1.70	m
d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	13.40	m
L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION	16.40	m
a = INCLINACION C/HORIZONTAL	1.70	m
Δh' = Δh CORREGIDA = Sen a x Δh	90	°
l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	3.00	m
Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	11.10	cm
e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	9.60	cm
RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75%	8	
PM = PRESION MANOMETRICA		
PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Ap = PERDIDAS DE CARGA		
q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / PEF)		

tiempo en min	5.4 psi 0.4 Bar		10.8 psi 0.8 Bar		16.1 psi 1.2 Bar		10.8 psi 0.8 Bar		5.4 psi 0.4 Bar	
	P1	P2	P3	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
0	15910.00	16036.20	16282.00	16730.00	16695.00	17086.00	17117.30	17148.60	17179.80	17221.10
1	15921.60	16059.10	16318.60	16730.00	16730.00	35.00	17117.30	17148.60	17179.80	17221.10
2	15933.30	16082.00	16355.00	16765.10	16765.10	35.10	17148.60	17179.80	17221.10	17242.40
3	15945.00	16104.90	16391.50	16800.10	16800.10	35.00	17179.80	17221.10	17242.40	17273.70
4	15956.60	16127.70	16427.90	16835.20	16835.20	35.10	17221.10	17242.40	17273.70	17305.00
5	15968.30	16150.50	16464.30	16870.20	16870.20	35.00	17242.40	17273.70	17305.00	17336.30
6	15980.00	16173.40	16500.70	16905.20	16905.20	35.00	17273.70	17305.00	17336.30	17367.50
7	15991.70	16196.30	16537.10	16940.20	16940.20	35.00	17305.00	17336.30	17367.50	17398.80
8	16003.40	16219.20	16573.50	16975.20	16975.20	35.00	17336.30	17367.50	17398.80	17430.10
9	16015.10	16242.10	16609.90	17010.30	17010.30	35.10	17367.50	17398.80	17430.10	17461.40
10	16026.80	16265.00	16646.30	17045.30	17045.30	35.00	17398.80	17430.10	17461.40	17492.70
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	116.80	228.80	364.30	350.30	312.80
q (l/min)	11.68	22.88	36.43	35.03	31.28
Q (l/min/m)	3.89	7.63	12.14	11.68	10.43
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah ³ /10)	0.170	0.17	0.17	0.17	0.17
P _{EF} (kg/cm ²)	0.570	0.97	1.37	0.97	0.57
UL	68.30	78.63	88.64	120.38	182.92



TIPO DE FLUJO : EROSION
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 182.92 UL
PERMEABILIDAD K : 6.08E-03 cm/s

V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

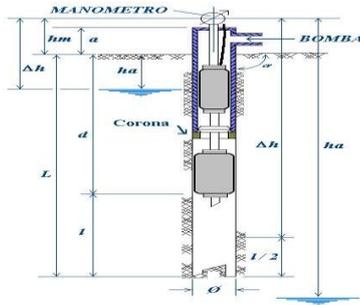
ANEXO 04

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-04)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-04	TRAMO DE ENSAYO DE	9.90 A	12.90
INCLINACI:	90 °	FECHA		03:40 p.m.
CORDENADAS		HORA INICIO		03:50 p.m.
E :	353435	TRAMO DE ENSAYO		3.00 m.
N :	8999902	PROF. DE PERFORACION		12.90 m.
ALTITUD :	4057.0 m.s.n.l.m.	PROF. NIVEL FREATICO		11.10 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



hm = ALTURA DEL MANOMETRO	0.75 m
a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.40 m
ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	11.10 m
Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA	11.85 m
d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	9.90 m
L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION	12.90 m
α = INCLINACION C/HORIZONTAL	90 °
Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	11.85 m
l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	3.00 m
Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	11.10 cm
e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	9.60 cm
RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75%	8
PM = PRESION MANOMETRICA	
PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO	
Ap = PERDIDAS DE CARGA	
q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO	
qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO	
Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO	
UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P _{EF})	

tiempo en min	P1 4.2 psi 0.3 Bar		P2 8.5 psi 0.6 Bar		P3 12.7 psi 0.9 Bar		P2 8.5 psi 0.6 Bar		P1 4.2 psi 0.3 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	17102.00		17119.00		17132.00		17150.00		17166.00	
1	17102.90	0.90	17120.10	1.10	17133.60	1.60	17151.40	1.40	17167.10	1.10
2	17103.90	1.00	17121.20	1.10	17135.10	1.50	17152.70	1.30	17168.30	1.20
3	17104.70	0.80	17122.30	1.10	17136.70	1.60	17153.90	1.20	17169.50	1.20
4	17105.70	1.00	17123.50	1.20	17138.30	1.60	17155.30	1.40	17170.60	1.10
5	17106.50	0.80	17124.60	1.10	17139.80	1.50	17156.60	1.30	17171.80	1.20
6	17107.30	0.80	17125.60	1.00	17141.30	1.50	17157.90	1.30	17173.00	1.20
7	17108.10	0.80	17126.60	1.00	17142.80	1.50	17159.20	1.30	17174.20	1.20
8	17108.90	0.80	17127.70	1.10	17144.30	1.50	17160.50	1.30	17175.40	1.20
9	17109.70	0.80	17128.70	1.00	17145.80	1.50	17161.80	1.30	17176.60	1.20
10	17110.50	0.80	17129.70	1.00	17147.30	1.50	17163.10	1.30	17177.80	1.20
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	8.50	10.70	15.30	13.10	11.80
q (l/min/m)	0.85	1.07	1.53	1.31	1.18
Q (l/min/m)	0.28	0.36	0.51	0.44	0.39
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah'/10)	1.185	1.19	1.19	1.19	1.19
P _{EF} (kg/cm ²)	1.485	1.79	2.09	1.79	1.49
UL	1.91	2.00	2.45	2.45	2.63



TIPO DE FLUJO : EROSION
CONDICION : Impermeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 2.63 UL
PERMEABILIDAD K : 8.81E-05 cm/s

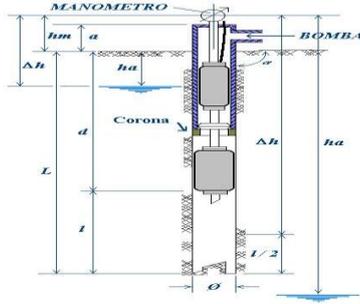
V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-04	TRAMO DE ENSAYO DE	13.90	A	16.90
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	09:50 a.m.
CORDENADAS				HORA FIN	10:10 a.m.
E :	353435	TRAMO DE ENSAYO			3.00 m.
N :	8999902	PROF. DE PERFORACION			16.90 m.
ALTITUD :	4057.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			11.10 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA



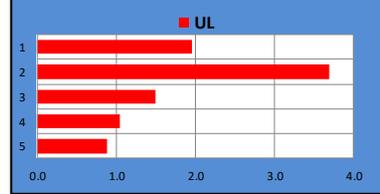
hm = ALTURA DEL MANOMETRO	0.75 m
a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.40 m
ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	11.10 m
Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA	11.85 m
d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	13.90 m
L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION	16.90 m
a = INCLINACION C/HORIZONTAL	90 °
Δh' = Δh CORREGIDA = Sen a x Δh	11.85 m
l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	3.00 m
Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	11.10 cm
e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	9.60 cm
RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75%	8
PM = PRESION MANOMETRICA	
PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO	
Ap = PERDIDAS DE CARGA	
q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO	
qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO	
Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO	
UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / PEF)	

tiempo en min	5.5 psi 0.4 Bar		11.1 psi 0.8 Bar		16.6 psi 1.2 Bar		11.1 psi 0.8 Bar		5.5 psi 0.4 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	17232.00		17246.00		17270.00		17283.00		17296.00	
1	17233.30	1.30	17247.80	1.80	17271.30	1.30	17283.70	0.70	17296.40	0.40
2	17234.20	0.90	17249.80	2.00	17272.50	1.20	17284.30	0.60	17296.90	0.50
3	17235.00	0.80	17251.90	2.10	17273.60	1.10	17285.00	0.70	17297.40	0.50
4	17235.90	0.90	17254.20	2.30	17274.60	1.00	17285.60	0.60	17297.80	0.40
5	17236.80	0.90	17256.50	2.30	17275.70	1.10	17286.20	0.60	17298.20	0.40
6	17237.70	0.90	17258.80	2.30	17276.70	1.00	17286.80	0.60	17298.60	0.40
7	17238.60	0.90	17261.10	2.30	17277.70	1.00	17287.40	0.60	17299.00	0.40
8	17239.50	0.90	17263.40	2.30	17278.70	1.00	17288.00	0.60	17299.40	0.40
9	17240.40	0.90	17265.70	2.30	17279.70	1.00	17288.60	0.60	17299.80	0.40
10	17241.30	0.90	17268.00	2.30	17280.70	1.00	17289.20	0.60	17300.20	0.40
11										
12										
13										
14										
15										
qt (l/min)	9.30		22.00		10.70		6.20		4.20	
q (l/min/m)	0.93		2.20		1.07		0.62		0.42	
Q (l/min/m)	0.31		0.73		0.36		0.21		0.14	
Dp (kg/cm ²)	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
CH (Ah'/10)	1.185		1.19		1.19		1.19		1.19	
P _{EF} (kg/cm ²)	1.585		1.99		2.39		1.99		1.59	
UL	1.96		3.69		1.50		1.04		0.88	

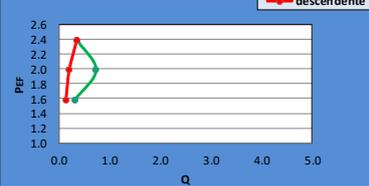
$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON



REPRESENTACION GRAFICA



TIPO DE FLUJO : RELLENO
CONDICION : Muy impermeable

UNIDAD DE LUGEON : 0.88 UL
PERMEABILIDAD K : 2.94E-05 cm/s

V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

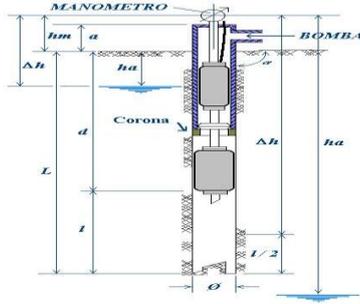
ANEXO 05

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-05)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-05	TRAMO DE ENSAYO DE	13.40	16.40
INCLINACI:	55 °	FECHA		11.10 p.m.
CORDENADAS		HORA INICIO		11.20 p.m.
E :	353435.3	TRAMO DE ENSAYO		3.00 m.
N :	8999902	PROF. DE PERFORACION		16.40 m.
ALTITUD :	4057.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO		12.30 m.

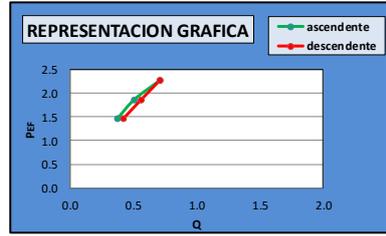
PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJEDEPRESA



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.70 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 12.30 m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA 13.00 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 13.40 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 16.40 m
- α = INCLINACION C/HORIZONTAL 55 °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh 10.65 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A.SI ES MAYOR DE 75% Y B. SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	P1 5.4 psi 0.4 Bar		P2 10.8 psi 0.8 Bar		P3 16.1 psi 1.2 Bar		P2 10.8 psi 0.8 Bar		P1 5.4 psi 0.4 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	18443.00		18458.00		18476.00		18502.00		18524.00	
1	18444.20	1.20	18459.50	1.50	18478.20	2.20	18503.60	1.60	18525.20	1.20
2	18445.40	1.20	18461.10	1.60	18480.40	2.20	18505.30	1.70	18526.50	1.30
3	18446.50	1.10	18462.70	1.60	18482.50	2.10	18507.00	1.70	18527.70	1.20
4	18447.70	1.20	18464.20	1.50	18484.70	2.20	18508.70	1.70	18529.00	1.30
5	18448.80	1.10	18465.80	1.60	18486.90	2.20	18510.40	1.70	18530.30	1.30
6	18449.90	1.10	18467.30	1.50	18488.90	2.00	18512.20	1.80	18531.60	1.30
7	18451.00	1.10	18468.80	1.50	18491.00	2.10	18513.90	1.70	18532.90	1.30
8	18452.10	1.10	18470.30	1.50	18493.10	2.10	18515.60	1.70	18534.20	1.30
9	18453.20	1.10	18471.80	1.50	18495.20	2.10	18517.30	1.70	18535.50	1.30
10	18454.30	1.10	18473.30	1.50	18497.30	2.10	18519.00	1.70	18536.80	1.30
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	11.30	15.30	21.30	17.00	12.80
q (l/min)	1.13	1.53	2.13	1.70	1.28
Q (l/min/m)	0.38	0.51	0.71	0.57	0.43
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh'/10)	1.065	1.06	1.06	1.06	1.06
P _{EF} (kg/cm ²)	1.465	1.86	2.26	1.86	1.46
UL	2.57	2.73	3.13	3.04	2.91



TIPO DE FLUJO : EROSION
CONDICION : Permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 3.13 UL
PERMEABILIDAD K : 1.04E-04 cm/s

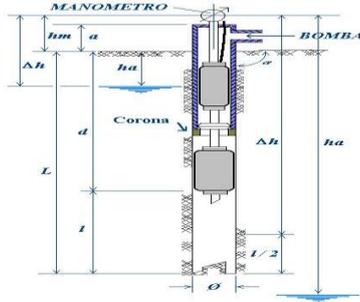
V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-05	TRAMO DE ENSAYO DE	18.10	A	21.10
INCLINACI:	55 °	FECHA			08:55 a.m.
CORDENADAS		HORA INICIO			09:10 a.m.
E :	353435.3	TRAMO DE ENSAYO			3.00 m.
N :	8999902	PROF. DE PERFORACION			21.10 m.
ALTITUD :	4057.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			12.30 m.

PROYECTO:	
UBICACIÓN:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJEDEPRESA



hm = ALTURA DEL MANOMETRO	0.80 m
a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.40 m
ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	12.30 m
Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA	13.10 m
d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	18.10 m
L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION	21.10 m
α = INCLINACION C/HORIZONTAL	55 °
Δh' = Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	10.73 m
l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	3.00 m
Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	11.10 cm
e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	9.60 cm
RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75%	8
PM = PRESION MANOMETRICA	
PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO	
Ap = PERDIDAS DE CARGA	
q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO	
qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO	
Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR MI. DE TRAMO DE ENSAYO	
UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P _{EF})	

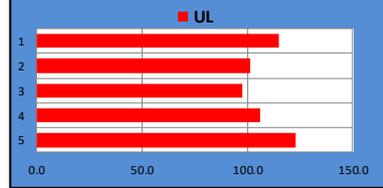
tiempo en min	6.9 psi 0.5 Bar		13.8 psi 1.0 Bar		20.8 psi 1.5 Bar		13.8 psi 1.0 Bar		6.9 psi 0.5 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	20635.00		20186.00		20823.00		21586.00		22255.00	
1	20689.40	54.40	20249.20	63.20	20899.00	76.00	21652.00	66.00	22313.10	58.10
2	20743.70	54.30	20312.20	63.00	20975.00	76.00	21718.00	66.00	22371.10	58.00
3	20798.00	54.30	20375.30	63.10	21050.00	75.00	21785.00	67.00	22429.10	58.00
4	20852.40	54.40	20438.50	63.20	21126.00	76.00	21851.00	66.00	22487.20	58.10
5	20906.70	54.30	20501.60	63.10	21201.00	75.00	21917.00	66.00	22545.30	58.10
6	20961.10	54.40	20564.90	63.30	21276.00	75.00	21983.00	66.00	22603.40	58.10
7	21015.40	54.30	20628.10	63.20	21351.00	75.00	22049.00	66.00	22661.50	58.10
8	21069.70	54.30	20691.30	63.20	21426.00	75.00	22115.00	66.00	22719.60	58.10
9	21124.00	54.30	20754.50	63.20	21501.00	75.00	22181.00	66.00	22777.70	58.10
10	21178.40	54.40	20817.70	63.20	21576.00	75.00	22247.00	66.00	22835.80	58.10
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	543.40	631.70	753.00	661.00	580.80
q (l/min/m)	54.34	63.17	75.30	66.10	58.08
Q (l/min/m)	18.11	21.06	25.10	22.03	19.36
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah ³ /10)	1.073	1.07	1.07	1.07	1.07
P _{EF} (kg/cm ²)	1.573	2.07	2.57	2.07	1.57
UL	115.14	101.57	97.55	106.28	123.07

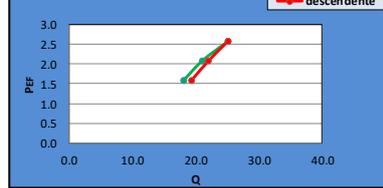
$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON



REPRESENTACION GRAFICA



TIPO DE FLUJO : TURBULENTO
CONDICION : Muy permeable

UNIDAD DE LUGEON : 97.55 UL
PERMEABILIDAD K : 3.24E-03 cm/s

V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

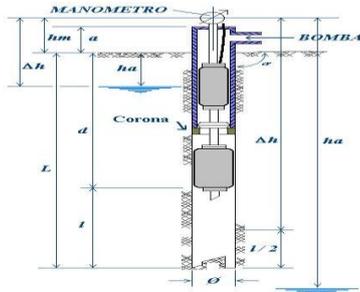
ANEXO 06

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-06)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-06	TRAMO DE ENSAYO DE	9.60	A	12.60
INCLINACI:	90 °	FECHA		HORA INICIO	11.10 a.m.
CORDENADAS				HORA FIN	12.30 p.m.
E :	353361.31	TRAMO DE ENSAYO			3.00 m.
N :	8099877.25	PROF. DE PERFORACION			12.60 m.
ALTIUD :	4057.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			12.80 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA-ESTRIBO DERECHO



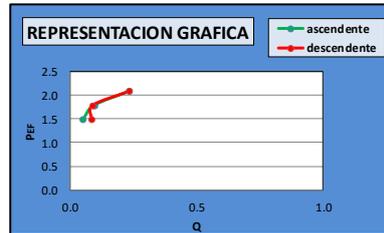
- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.70 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 12.80 m
- Ah = SOBRECARGA HIDRAULICA 11.80 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 9.60 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 12.60 m
- a = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Ah' = Ah CORREGIDA = Sen a x Ah 11.80 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR MI. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	4.1 psi 0.3 Bar		8.3 psi 0.6 Bar		12.4 psi 0.9 Bar		8.3 psi 0.6 Bar		4.1 psi 0.3 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	22845.00	0.20	22849.00	0.20	22853.00	0.70	22866.00	0.20	22873.00	0.30
1	22845.20	0.20	22849.20	0.40	22853.20	0.70	22866.20	0.30	22873.20	0.20
2	22845.40	0.10	22849.40	0.20	22853.40	0.80	22866.40	0.30	22873.40	0.20
3	22845.50	0.20	22849.60	0.40	22853.60	0.60	22866.60	0.30	22873.60	0.20
4	22845.70	0.20	22849.80	0.20	22853.80	0.80	22866.80	0.30	22873.80	0.20
5	22845.80	0.20	22850.00	0.30	22854.00	0.60	22867.00	0.30	22874.00	0.30
6	22845.80	0.10	22850.20	0.30	22854.20	0.60	22867.20	0.30	22874.20	0.30
7	22846.00	0.20	22850.40	0.30	22854.40	0.60	22867.40	0.30	22874.40	0.30
8	22846.20	0.20	22850.60	0.30	22854.60	0.60	22867.60	0.30	22874.60	0.30
9	22846.40	0.20	22850.80	0.30	22854.80	0.60	22867.80	0.30	22874.80	0.30
10	22846.50	0.10	22851.00	0.30	22855.00	0.70	22868.00	0.30	22875.00	0.30
10	22846.60	0.10	22851.20	0.30	22855.20	0.70	22868.20	0.30	22875.20	0.30

qt (l/min)	1.60	2.90	7.00	2.70	2.60
q (l/min/m)	0.16	0.29	0.70	0.27	0.26
Q (l/min/m)	0.05	0.10	0.23	0.09	0.09
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Ah'/10)	1.180	1.18	1.18	1.18	1.18
P _{EF} (kg/cm ²)	1.480	1.78	2.08	1.78	1.48
UL	0.36	0.54	1.12	0.51	0.59

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$



TIPO DE FLUJO : DILATACION
CONDICION : Muy impermeable

UNIDAD DE LUGEON : 0.36 UL
PERMEABILIDAD K : 1.20E-05 cm/s

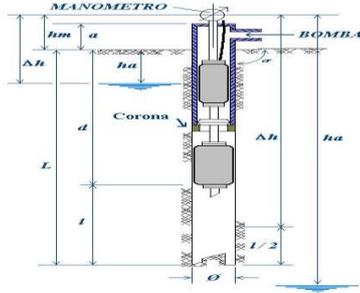
V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-06	TRAMO DE ENSAYO DE	12.80	15.80
INCLINACI:	90 °	FECHA		02:20 p.m.
CORDENADAS		HORA INICIO		03:35 p.m.
E :	353361.31	TRAMO DE ENSAYO		3.00 m.
N :	8099877.25	PROF. DE PERFORACION		15.80 m.
ALTITUD :	4057.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO		12.80 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA-ESTRIBO DERECHO



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.70 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 12.80 m
- Δh = SOBRECARGA HIDRAULICA 13.50 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 12.80 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 15.80 m
- a = INCLINACION C/HORIZONTAL 90 °
- Δh' = Δh CORREGIDA = Sen a x Δh 13.50 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- φ = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A-SI ES MAYOR DE 75% Y B- SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR MI. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	5.2 psi 0.4 Bar		10.4 psi 0.7 Bar		15.5 psi 1.1 Bar		10.4 psi 0.7 Bar		5.2 psi 0.4 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	22909.00		22920.00		22936.00		22965.00		22985.20	
1	22909.80	0.80	22921.20	1.20	22937.80	1.80	22966.40	1.40	22986.30	1.10
2	22910.60	0.80	22922.50	1.30	22939.50	1.70	22967.90	1.50	22987.60	1.30
3	22911.50	0.90	22923.80	1.30	22941.20	1.70	22969.40	1.50	22988.80	1.20
4	22912.40	0.90	22925.10	1.30	22942.90	1.70	22971.10	1.70	22990.20	1.40
5	22913.30	0.90	22926.50	1.40	22944.80	1.90	22972.60	1.50	22991.50	1.30
6	22914.20	0.90	22927.90	1.40	22946.60	1.80	22974.20	1.60	22992.80	1.30
7	22915.00	0.80	22929.20	1.30	22948.20	1.60	22975.70	1.50	22994.20	1.40
8	22915.80	0.80	22930.60	1.40	22949.90	1.70	22977.30	1.60	22995.50	1.30
9	22916.70	0.90	22931.90	1.30	22951.70	1.80	22978.90	1.60	22996.70	1.20
10	22917.60	0.90	22933.20	1.30	22953.40	1.70	22980.60	1.70	22998.00	1.30

qt (l/min)	8.60	13.20	17.40	15.60	12.80
q (l/min/m)	0.86	1.32	1.74	1.56	1.28
Q (l/min/m)	0.29	0.44	0.58	0.52	0.43
Dp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh'/10)	1.350	1.35	1.35	1.35	1.35
P _{EF} (kg/cm ²)	1.750	2.05	2.45	2.05	1.75
UL	1.64	2.15	2.37	2.54	2.44

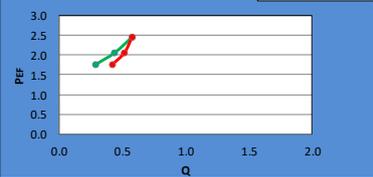
$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON



REPRESENTACION GRAFICA



TIPO DE FLUJO : EROSION
CONDICION : Impermeable

UNIDAD DE LUGEON : 2.54 UL
PERMEABILIDAD K : 8.43E-05 cm/s

V"B" OPERADOR

V"B" SUPERVISOR

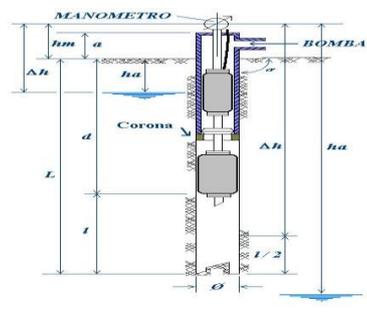
ANEXO 07

REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHC-07)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION

ZONDAJE :	DHC-07	TRAMO DE ENSAYO DE	3.70	A	6.70
INCLINACI:	53 °	FECHA		HORA INICIO	08:40 a.m.
CORDENADAS				HORA FIN	09:50 a.m.
E :	353361.61	TRAMO DE ENSAYO			3.00 m.
N :	8099877.25	PROF. DE PERFORACION			6.70 m.
ALTITUD :	4063.0 m.s.n.m.	PROF. NIVEL FREATICO			13.50 m.

PROYECTO:	
UBICACION:	Provincia : Candarave Distritos : Camilaca
ÁREA:	EJE DE PRESA-ESTRIBO DERECHO



- hm = ALTURA DEL MANOMETRO 0.70 m
- a = ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO 1.40 m
- ha = PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO 13.50 m
- Ah = SOBRECARGA HIDRAULICA 5.90 m
- d = PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR 3.70 m
- L = PROFUNDIDAD DE PERFORACION 6.70 m
- a = INCLINACION C/HORIZONTAL 53 °
- Ah' = Ah CORREGIDA = Sen a x Ah 4.71 m
- l = LONGITUD TRAMO DE ENSAYO 3.00 m
- Ø = DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO 11.10 cm
- e = DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO 9.60 cm
- RQD = A.SI ES MAYOR DE 75% Y B. SI ES MENOR QUE 75% 8
- PM = PRESION MANOMETRICA
- PEF = PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO
- Ap = PERDIDAS DE CARGA
- q = CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO
- qt = CAUDAL TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO
- Q = CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR M. DE TRAMO DE ENSAYO
- UL = UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P_{EF})

tiempo en min	lectura de caudal	2.2 psi 0.2 Bar		4.4 psi 0.3 Bar		6.6 psi 0.5 Bar		4.4 psi 0.3 Bar		2.2 psi 0.2 Bar	
		Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)							
0	23107.00		23155.00		23225.00		23322.00		23408.00		
1	23107.10	5.10	23161.60	6.60	23234.60	9.60	23330.00	8.00	23415.40	7.40	
2	23112.20	5.10	23168.30	6.70	23244.10	9.50	23337.90	7.90	23422.90	7.50	
3	23117.30	5.10	23175.00	6.70	23253.60	9.50	23345.80	7.90	23430.40	7.50	
4	23122.40	5.10	23181.80	6.80	23263.00	9.40	23353.70	7.90	23437.80	7.40	
5	23127.40	5.00	23188.60	6.80	23272.40	9.40	23361.70	8.00	23445.40	7.60	
6	23132.50	5.10	23195.40	6.80	23281.80	9.40	23369.60	7.90	23452.90	7.50	
7	23137.60	5.10	23202.20	6.80	23291.30	9.50	23377.30	7.70	23460.40	7.50	
8	23142.70	5.10	23209.00	6.80	23300.60	9.30	23385.20	7.90	23467.90	7.50	
9	23147.80	5.10	23215.80	6.80	23309.90	9.30	23393.10	7.90	23475.40	7.50	
10	23152.90	5.10	23222.60	6.80	23319.20	9.30	23401.00	7.90	23482.90	7.50	
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79											
80											
81											
82											
83											
84											
85											
86											
87											
88											
89											
90											
91											
92											
93											
94											
95											
96											
97											
98											
99											
100											



TIPO DE FLUJO : EROSION
CONDICION : Muy permeable

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

$$K = \frac{U \cdot L}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

UNIDAD DE LUGEON : 37.20 UL
PERMEABILIDAD K : 1.24E-03 cm/s

V"B" OPERADOR V"B" SUPERVISOR

