

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SUELO Y ROCA PARA EL
CONTROL DE FILTRACIONES DE AGUAS ACIDAS EN LA ACTIVIDAD MINERA.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. FRANK AMILCAR CALIZAYA POCCHOUANCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO, PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SUELO Y ROCA PARA EL
CONTROL DE FILTRACIONES DE AGUAS ACIDAS EN LA ACTIVIDAD MINERA.

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

**FRANK AMILCAR CALIZAYA POCCHOUANCA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

APROBADO POR:

PRESIDENTE

.....
DR.Ing. Juan Mayhua Palomino

PRIMER MIEMBRO

.....
Ing. David Velásquez Medina

SEGUNDO MIEMBRO

.....
MSc. Ing. Lucio Quea Gutierrez

TEMA: Permeabilidad en suelo y roca

AREA: Ingeniería de minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 De Noviembre del 2019

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN MODALIDAD ARTICULO
CIENTÍFICO**

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRÓNIMOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	4
INDICE DE ACRÓNIMOS	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1 METODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL SUELO Y LA ROCA	11
2.1.1 LEY DE DARCY.....	11
2.1.2 ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LUGEÓN.....	12
2.1.2.3 REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.....	15
2.1.2.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.	15
2.2.6 VALORES DE PERMEABILIDAD DE SUELOS.....	16
2.2 METODO DE DETERMINACION DE LA RED DE FLUJO Y Y EL GRADO DE INFILTRACION	17
2.2.1 ANALISIS DE FILTRACIONES UTILIZANDO SEEP/W – GEOSTUDIO2007.	17
2.3 CLASIFICACIÓN RQD	18

2.4 MÉTODOS DE CONTROL	18
2.4.1 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE TÉCNICA ADECUADA PARA EL TRATAMIENTO DE FILTRACIONES	18
III. RESULTADOS	19
3.1 SELECCION DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.	20
3.2 ANÁLISIS DEL RQD	20
3.3 ELECCION DEL METODO DE CONTROL.....	21
IV. DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES:	22
REFERENCIAS	23

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Representación geométrica de la ley de Darcy</i>	11
<i>Figura 2 Esquema de instalación del equipo de prueba. (Timothy, 1990)</i>	15
<i>Figura 3 Componentes de una red de flujos.</i>	17
<i>Figura 4 Muestra de un medio isótropo red de flujos</i>	17
<i>Figura 5 Correlación de la permeabilidad y la calidad del macizo rocoso (RQD) Relavera Huancapetí Recuay</i>	21

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Clasificación USCS</i>	16
<i>Tabla 2 Factores causantes de las filtraciones</i>	18
<i>Tabla 3 Características de la actividad Minera.</i>	19
<i>Tabla 4 Valorización de los criterios técnicos de selección</i>	19
<i>Tabla 5 Selección de la unidad de Lugeón representativa Relavera Huancapetí Recuay</i>	20
<i>Tabla 6 Resultado para cada pozo (Relavera Huancapetí Recuay)</i>	21
<i>Tabla 7 Clasificación lugeón</i>	22

INDICE DE ACRÓNIMOS

U.L	: Unidad de Lugeón
K	: Coeficiente de permeabilidad
RQD	: Rock Quality Design
UTM	: Universal Transverse Marcator
t.	: Tonelada
cm.	: Centímetros
m.	: Metro
mm.	: Milímetros
Li.	: Libras
d.	:Dias
h.	:.Horas
C	: criterios tecnicos

DEDICATORIA

A Dios, a mis queridos padres: por incontables motivos y por haber logrado encaminarme por el buen camino, además por ser mi punto de apoyo en mi formación profesional y personal, acompañándome en los momentos más difíciles y en mis triunfos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano - Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, a los docentes, por sus conocimientos impartidos desde el inicio de mis estudios superiores, lo que ha permitido enriquecer mis saberes y principios imperecederos en el recorrer de mi vida académica.

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN SUELO Y ROCA PARA EL CONTROL DE FILTRACIONES DE AGUAS ACIDAS EN LA ACTIVIDAD MINERA.

DETERMINATION OF THE PERMEABILITY IN SOIL AND ROCK FOR THE CONTROL OF ACIDED WATER FILTRATIONS IN THE MINING ACTIVITY.

Bach. Frank Amilcar Calizaya Poccohuanca
Universidad Nacional del Altiplano de Puno
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas
frank_amilcar@hotmail.com
cell:957769329

RESUMEN

Durante muchos años el debate sobre la actividad minera activas o inactivas a traído consigo muchas vicisitudes sobre su efecto contaminante al medio ambiente una de ellas la filtración de aguas acidas. Para ello realizaremos el análisis y su aplicación en la RELAVERA HUANCAPETÍ RECUAY - ANCASH”

Para ello se ha determinado la permeabilidad mediante el ensayo de Lugeón, y las características del macizo rocoso se realizarán mediante el cálculo del RQD. Para la determinación del grado de infiltración y red de flujo usaremos criterios técnicos.

Como medidas de control tenemos un procedimiento general por el cual, conociendo la calidad del macizo rocoso y parámetros hidrogeológicos, seleccionaremos una variante de tres posibilidades: bombeo (cuando la filtración es baja), inyecciones cementantes (cuando la calidad del macizo es mala y la permeabilidad es alta) y congelación; incluyen además la posibilidad de aplicación de una variante combinada. La técnica de electroósmosis y las condiciones de su aplicación, este artículo describe un procedimiento para definir la técnica de control de las filtraciones de agua de acuerdo al tipo de permeabilidad del suelo y la roca, mismo basa la elección en la relación directa que existe entre la permeabilidad y la calidad de los macizos rocoso considerando las características orográficas, hidrográficas, hidrogeológicas y geoestructurales que inciden en el proceso de infiltración del agua y en su control. Se muestran los resultados de su aplicación con la determinación de un control adecuado de filtraciones de aguas acidas.

Palabras claves: hidrogeológicas, infiltración, Macizo Rocos, Mecánica de roca, Nivel freático.

ABSTRACT

For many years the debate about active or inactive mining activity has brought many vicissitudes about its polluting effect on the environment, one of them the filtration of acidic waters. For this, we will carry out the analysis and its application in the RELAVERA HUANCAPETÍ RECUAY - ANCASH”

For this, the permeability has been determined through the Lugeón test, and the characteristics of the rock mass will be carried out by calculating the RQD. To determine the degree of infiltration and flow network we will use technical criteria.

As control measures we have a general procedure by which, knowing the quality of the rock mass and hydrogeological parameters, we will select a variant of three possibilities: pumping (when the filtration is low), cementing injections (when the quality of the massif is bad and the permeability is high) and freezing; They also include the possibility of applying a combined variant. The electroosmosis technique and the conditions of its application, this article describes a procedure to define the technique of control of water leaks according to the type of permeability of the soil and rock, it bases the choice on the direct relationship that exists between the permeability and quality of the rock massifs considering the orographic, hydrographic, hydrogeological and geostructural characteristics that affect the water infiltration process and its control. The results of its application are shown with the determination of an adequate control of acid water filtrations.

Key Words. Hydrogeological, Infiltración, Rock Mass, rock Mechanics, Water Table.

I. INTRODUCCIÓN

Este presente trabajo, se basa en la determinación de la permeabilidad en suelo y roca. Así como también la caracterización del macizo rocoso para el control de estas aguas acidas,

Las operaciones mineras generan una serie de impactos al medio ambiente, dentro de estos tenemos la creación de aguas acidas, por tal motivo, se ha determinado realizar el análisis para determinar la permeabilidad y caracterización del suelo y roca, con la cual se determinará el tipo de control de agua acidas y esto permitirá, mediante un plan de control, monitorear el agua subterránea que fluye en la roca, empleando el índice de permeabilidad obtenido en los ensayos y correlacionando con las caracterización del macizo rocoso así mismo en los puntos perforados de la zona de estudio, dando así la aplicación de un efectivo método de control. La determinación de la permeabilidad de un macizo rocoso es parte del proceso para conocer el terreno en el cual se controlará la capacidad hidráulica que pueda fluir en ésta formación, con los datos obtenidos se podrá dar solución y adecuar tecnologías para reducir costos o alcanzar un estándar de los trabajos.

La permeabilidad del suelo depende de la continuidad del espacio poroso y se ve afectada por la presencia de capas endurecidas, cambios texturales, presencia de materia orgánica, actividad microbológica y labranza; por esta razón no existe una única relación entre la

porosidad del suelo y su permeabilidad. (khan,1989)

Las propuestas de solución ante el cuidado del medio ambiente que existe en la actualidad, han llevado a iniciar diversos proyectos de ingeniería que deberán encajar en la ideología del desarrollo sostenible, pues conservar este patrimonio requiere, en todos los casos, el apoyo de la sociedad. Así mismo, los resultados generarán la conservación del medio ambiente. (Harris, J. S. & Pollard, C. A, 1986).

Mediante el ensayo de permeabilidad de Lugeón y lefranc realizado en los diferentes puntos de perforación, se determinará el índice de permeabilidad del macizo rocoso y suelo, con la finalidad de conocer sus características hidráulicas para controlar el flujo de agua subterránea donde se ubica la Huancapetí Recuay – Ancash” (Altamiranda, D, 2012).

Es por ello que se debería de ejecutar el ensayo de lugeón, ensayos de permeabilidad cuyos parámetros antes de cada prueba son determinados por las condiciones del tramo, profundidad, litología, fracturamiento y nivel freático. Con estos datos se correlaciona obteniendo un modelo que nos permitirá interpretar la permeabilidad del macizo rocoso. ambiental. (Gutiérrez, I, 2016)

el RQD se puede introducir directamente o inferido a partir del J_v , propuesto por Palmstrom (1982-2005) que depende del número de grietas en una familia.

Ley de Darcy, Este coeficiente generalmente es representado por la letra k y es extremadamente variable, según el suelo, cuando el ingeniero hidráulico Henry Darcy hizo un análisis sistemático del movimiento del agua a través de un medio poroso. En 1856, Darcy publicó su trabajo, en el cual describía estudios experimentales de flujo del agua a través de filtros de arena no consolidada, que eran utilizados en el procesamiento diario de agua potable en Dijon (Francia). Para esto midió la permeabilidad en función de la velocidad del flujo de agua a través del suelo durante un periodo determinado. “(Juarez , E; Rodriguez, A,1980)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación es de carácter comparativo, conforme a los propósitos de la investigación; el estudio se ubica en el nivel descriptivo porque se describe el proceso de determinación de la permeabilidad en suelos y macizo rocoso.

Los ensayos de permeabilidad de Lugeón y lefranc servirán para la determinación de la permeabilidad en roca y suelo, con estos datos.

Las perforaciones con recuperación de testigos permitirán conocer la litología y estructura de la roca, así también un nivel freático aproximado en cada punto.

Durante esta etapa se realizó los siguientes trabajos:

Perforación diamantina con fines geotécnicos.

Recuperación y rotulación de muestras de testigo de sondaje diamantino, solo se recuperó roca compacta, la cobertura Cuaternaria no fue almacenada.

Ensayo de permeabilidad de Lugeón con Packer de doble cámara en un tramo de roca específico del sondaje.

- ✓ Breve descripción de los testigos para la elección del tramo a ensayar.
- ✓ El nivel freático se determinó con una aproximación del cambio del caudal de retorno en la perforación.

2.1 METODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL SUELO Y LA ROCA

2.1.1 LEY DE DARCY

Nos ayudara a la determinación de la permeabilidad en el suelo

- ✓ Terminología y representación geométrica de la ley de Darcy.

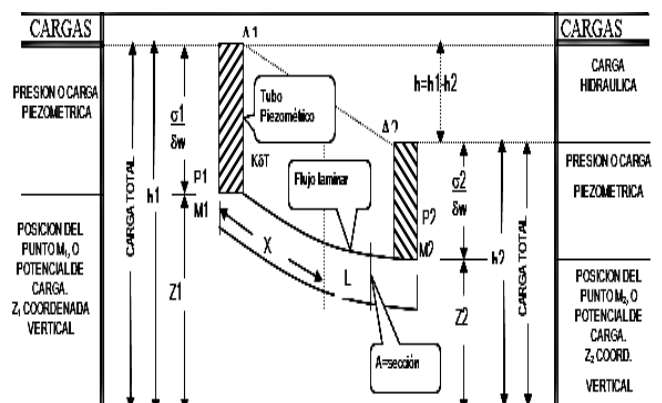


Figura 1 Representación geométrica de la ley de Darcy

$$\text{Dónde: } V = K h/l = K i$$

K = Coeficiente de permeabilidad

i = Gradiente hidráulico (h/l)

Posición h_{e1} , carga de presión h_p , y carga de velocidad h_v .

$$h_1 = h_{e1} + h_p + h_v$$

La carga de posición h_{e1} es la altura por encima de un nivel de referencia arbitrario y se designa generalmente como Z. La carga de presión $h_p = v^2/2g$ en la mayor parte de los problemas de flujo es lo suficientemente pequeña como para despreciarla. Por lo tanto, la ecuación de carga total se reduce a:

$$h_1 = h_{e1} + h_p = z + \frac{\sigma^1}{\delta w}$$

Como la suma de la carga de posición y la carga de presión de un fluido es la carga piezométrica, en los problemas de flujo de aguas subterráneas la carga total es igual a la carga piezométrica.

La viscosidad produce una resistencia al flujo en los canales formados por los poros, que se traduce en pérdida de energía o disminución de cabeza total en el agua que fluye de un lado al otro. Las cargas piezométricas pueden medirse en los tubos en los puntos A1 y A2; la diferencia del nivel piezométrico entre los dos tubos constituye la diferencia de carga total Δh .

Como resultado de sus experimentos, Darcy concluyó que el caudal Q que pasa a través de un material poroso es directamente proporcional a la sección transversal A y a la diferencia de carga total Δh , e inversamente proporcional a la longitud ΔD .

$$Q = kA * \frac{\Delta h}{\Delta D}$$

Donde: k = Coeficiente de permeabilidad

$\Delta h/\Delta D$ = Traza de pérdida de cabeza llamada gradiente hidráulico (i).

La cantidad Q/A es la velocidad de descarga v, entonces la ecuación anterior se puede escribir de la siguiente manera:

$$v = k * i$$

El coeficiente de permeabilidad es una propiedad de los suelos y rocas muy fracturadas que se determina mediante experimentación. Debido a la dificultad de obtener muestras inalteradas de estos materiales, el coeficiente de permeabilidad de los suelos de drenaje libre sin cohesión se determina, a menudo, en el campo mediante ensayos de bombeo.

2.1.2 ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LUGEÓN

Las pruebas de permeabilidad de campo son ensayos que sirven para medir la velocidad del flujo de agua a través de los vacíos del suelo o

fracturas de roca, que se encuentran dentro de la perforación.

La determinación de la Permeabilidad de un macizo rocoso puede medirse en el laboratorio o en el campo; las determinaciones de laboratorio son mucho más fáciles de hacer que las determinaciones in situ. Debido a que la permeabilidad depende mucho de la estructura del macizo (tanto la microestructura o disposición de las partículas como la macroestructura: estratigrafía, etc.) y debido a la dificultad de obtener muestras de roca representativas, suelen ser necesarias determinaciones in situ de la permeabilidad media. Ensayo Lugeón se realiza en el interior de las perforaciones y permite calcular semi-cuantitativamente la permeabilidad de los macizos rocosos, en cualquier tipo de litología y estado de fracturación. Estos se ejecutan según avanza la perforación, es necesario ejercer presiones relativamente grandes para inyectar el agua en las fisuras. Supongamos una perforación invadida hasta una cierta profundidad. A partir de ella se perforan unos 5 metros. A continuación se fija un obturador en la parte superior de este tramo virgen y se inyecta agua a presión con una bomba. Un manómetro colocado en la boca del pozo, un contador de agua y una válvula de descarga, permiten medir los caudales inyectados a una presión dada.

En general, se mide durante diez minutos el caudal inyectando a una presión constante.

Después se trabaja con una presión mayor. La gama de presiones a emplear depende del estado de fisuración, pero al menos se emplean dos o tres valores que se volverán a utilizar cuando se haya alcanzado la presión máxima.

Esta raramente es mayor a 10 kg/cm², ya que existe un límite a causa de la presencia del obturador y de la potencia de las bombas. Por otra parte, se corre el riesgo de producir una fracturación artificial y trastornos del terreno que falsearían los resultados.

El ensayo Lugeón tiene su máxima sensibilidad en situaciones de baja permeabilidad. A medida que aumenta el valor de la Unidad Lugeón, la variación también debe aumentar para que sea significativa, como se muestra a continuación:

En el rango de 1 a 5, cada variación de una unidad es representativa.

Entre 5 y 10, incrementos significativos son de 2 unidades.

Entre 10 y 15, incrementos significativos son de 5 unidades.

Entre 15 y 50, incrementos significativos son de 10 unidades.

Entre 50 y 100, incrementos significativos son de 30 unidades.

Aun cuando la escala no tiene límite superior, por encima de 100 U.L. se obtiene

el mismo resultado en términos de aplicación de lechada: es muy necesaria.

Las U.L. no deben tener decimales, siempre se aproximan al número entero más cercano,

exceptuando los valores menores a 1, los cuales serán aproximados a la décima.

2.1.2.1 EQUIPO.

Obturador o Packer. Se utilizó un obturador o Packer neumático con su correspondiente tubo de inyección

Bomba Hidráulica. Las bombas hidráulicas no son capaces de generar una presión, solamente suministran un caudal, lo más constante posible, al circuito. La presión aparece cuando el caudal suministrado por la bomba tiene que vencer algún tipo de resistencia.

Caudalímetro. Es un instrumento de medida para la medición de caudal.

Manómetros. Es un instrumento de medición que sirve para medir la presión de fluidos.

Línea de inflación. Son mangueras que pueden soportar presiones altas.

Stuffing Box. Proporciona un sello en la barra de perforación y en contra de la línea wireline y la línea de inflación. Esto permite que el agua sea bombeada bajo presión y no retorne por el espacio que deja la línea wireline y la línea de inflación.

Mangueras de presión. Son mangueras conectadas del regulador de presión al carrete de la línea de inflación del obturador o Packer..

Disipador de turbulencia. Consiste en un dispositivo que alivia las irregularidades del caudal emitido por la bomba hidráulica, para obtener lecturas con mayor precisión.

Llaves reguladoras. Una válvula hidráulica es un mecanismo que sirve para regular el flujo de fluidos. También servirá para regular la presión ejercida en el ensayo de Lugeón.

Regulador de presión para gas inerte. La válvula reguladora de presión es una válvula automática que reduce una presión de entrada alta a una presión de salida menor y constante, cualquiera que sea la variación en el caudal y en la presión de entrada.

Balón de nitrógeno. El nitrógeno es un gas inerte apropiado para este tipo de pruebas.

Agua limpia. El agua se inyectara para el cálculo de pérdida del tramo a ensayar.

Sonda Eléctrica. La sonda eléctrica consiste de un probador de acero inoxidable o de níquel latonado, un cable o cinta con graduación métrica o inglesa y un carrete.

2.1.2.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LUGEÓN.

PREPARACIÓN Y VERIFICACION DEL SELLO.

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

Después de instalar el equipo se procede a descender el obturador a la parte superior del tramo del ensayo, cuidando que este ubicado en roca no fracturada o con un mínimo de fracturas. El obturador, que puede ser de jebe o neumático, al expandirse deberá confinar herméticamente el tramo de ensayo. (*Véase Figura N°2*)

La colocación de los empaques en la perforación (Stuffing box), con objeto de sellar el tramo por probar, puede resultar muy delicada. Para apreciar la calidad del sello, se inyecta agua y se observa si sube por la perforación, Si el agua sube, esto puede deberse a dos causas:

- La perforación no es regular y el empaque no ajusta.
- El terreno está muy fisurado y se establece un corto circuito alrededor del empaque.

En el primer caso es necesario desplazar el empaque algunos centímetros y en ocasiones algunos metros, hasta poderlo ajustar perfectamente o aumentar la longitud del empaque para lograr un mejor sello. En el segundo, resulta difícil la realización de la prueba, se debe pensar en efectuar otro tipo de ensayo. (Gutiérrez, 2016)

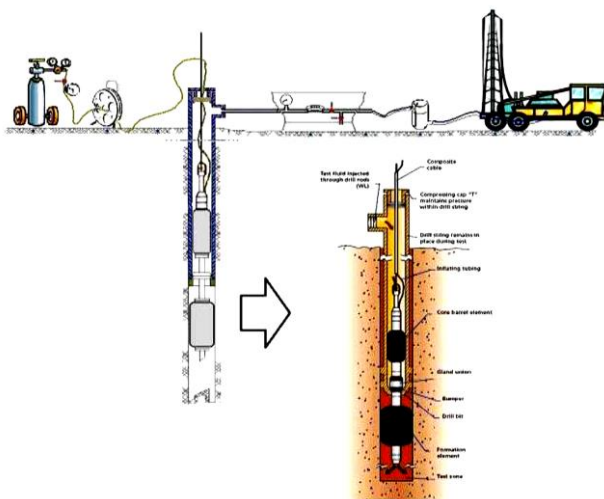


Figura 2 Esquema de instalación del equipo de prueba. (Timothy, 1990).

2.1.2.3 REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.

La zona para el ensayo de Lugeón se seleccionará en base al logueo geológico, geotécnico e hidrogeológico de los testigos obtenidos. Se debe realizar el logueo en tiempo real para facilitar la identificación de las zonas para ensayos durante la perforación.

Se seleccionan las zonas para los ensayos con uno o más del siguiente criterio:

- ✓ Zonas de falla bajo el nivel freático estimado.
- ✓ Zonas de fracturas importantes (frecuencia de fracturas altas y RQD bajo) bajo en nivel freático estimado.
- ✓ Cambios en la alteración o tipo de roca.
- ✓ Cambios en la unidad hidrogeológica (cambios significativos en RQD o frecuencia de fracturas)
- ✓ Roca Masiva.

Una vez verificando el sello, se anotan los datos correspondientes al tramo probado: Profundidad y longitud del tramo probado y diámetro.

2.1.2.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

CÁLCULO DE LA ABSORCIÓN.

La Absorción es el promedio de los caudales obtenidos durante 10 minutos para uno de los estados de presión, dividido entre la longitud del tramo del ensayo

(l/m/min). También denominado caudal.

2.1.2.5 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LUGEÓN REPRESENTATIVO.

Para dar una idea aproximada de lo que representa una unidad Lugeón, se puede establecer que, si se tuviera un medio poroso y homogéneo, en lugar de roca fisurada, sometido a una prueba de inyección, que diera una absorción igual a una unidad Lugeón (*Lugeón, 1932*), su permeabilidad sería:

$$k = 1,3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

El valor de Lugeón o Unidad de Lugeón (*Lugeón, 1932*), está dado por la siguiente ecuación:

$$UL = \alpha \times qL \times P_0 P$$

Desde que la unidad de Lugeón es definida en el sistema de internacional de unidades (SI), ha requerido introducir el factor “ α ” en la ecuación para facilitar el uso de diferentes sistemas de unidades. Este factor toma el valor de 1 cuando las unidades empleadas en la ecuación son: q [l/min], L [m] y P [MPa]; y un valor de 12.42 cuando se utiliza el Sistema Inglés: q [gal/min], L [ft] y P [psi]. El término P_0 corresponde a una presión referencial de 1 MPa o 145 psi. (*Camilo, 1991*).

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

Una vez elegido el valor Lugeón representativo, dicho se califica de la siguiente manera.

- ✓ 0 - 1 UL* - muy favorable
- ✓ 1 - 3 UL* - favorable
- ✓ 3 - 10 UL* - desfavorable
- ✓ 10 UL* - muy desfavorable

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

2.2.6 VALORES DE PERMEABILIDAD DE SUELOS

A continuación, y para que sirva como orden de magnitud para Lugeón, se presentan distintos valores de permeabilidad para los suelos más comunes según la clasificación USCS.

Tabla 1 Clasificación USCS

Tipo de suelo	K(cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0.2-1
Grava bien graduada (GW)	0.05-0.3
Arena Uniforme (SP)	5×10^{-3} -0.2
Arena bien graduada(SW)	10^{-3} - 0.1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena Arcillosa (SC)	10^{-3} - 10^{-4}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcilla de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

2.2 METODO DE DETERMINACION DE LA RED DE FLUJO Y Y EL GRADO DE INFILTRACION

2.2.1 ANALISIS DE FILTRACIONES UTILIZANDO SEEP/W – GEOSTUDIO2007.

El GeoStudio 2007 es un software de elementos finitos, utilizado especialmente para el análisis de filtraciones de aguas subterráneas. Su formulación integral le permite considerar los análisis que van desde problemas simples a complejos, con suelos saturados y no saturados, como así también lleva a cabo la solución de problemas dependientes del tiempo. El diseño asistido por computadora (CAD) como la tecnología única en SEEP / W le permite generar la malla de elementos finitos de las regiones de dibujo en la pantalla. Se puede aplicar de forma interactiva las condiciones de contorno y especificar las propiedades del material, e incluso se pueden estimar las funciones de parámetros importantes como por ejemplo el tamaño de grano, la conductividad saturada o el contenido de agua. (Chumpitaz C , 2007)

2.2.1.1 CALCULO DE REDES DE FLUJO

En el cálculo de estabilidad nos interesan dos cosas:

- Caudal.
- Distribución de presiones en el interior del cuerpo..

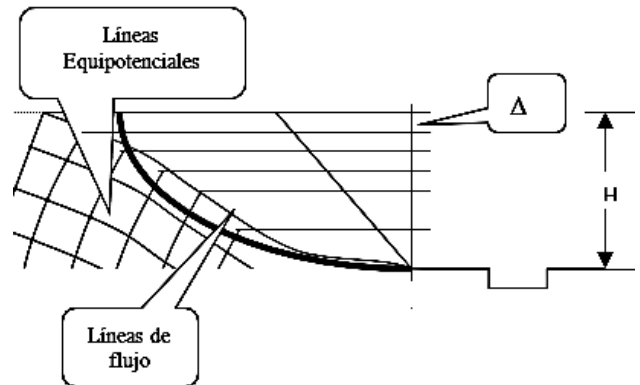


Figura 3 Componentes de una red de flujos.

Medios Isotrópicos

Se utiliza para el caso de materiales porosos.

Entre dos líneas de flujo hay un caudal constante. Todos los Δh sumados deben dar h . La caída de presión entre líneas equipotenciales es constante.

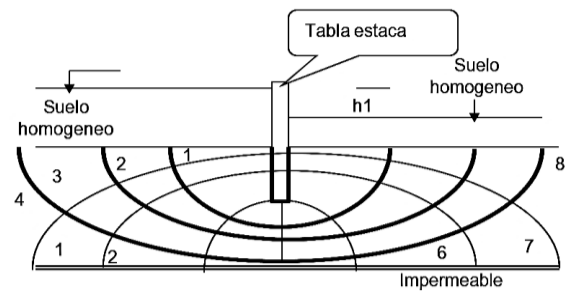


Figura 4 Muestra de un medio isotrópico red de flujos.

Líneas equipotenciales —————
 Líneas de flujo —————

Cada cuadrilátero debe ser ortogonal, con el ángulo 90° y sus lados iguales.

Lo ideal es no hacer más de 10 (entre 6 y 8).

Condiciones de borde del ejemplo:

- La superficie de la tabla estaca es una línea de flujo.
- La superficie de la roca impermeable es otra línea de flujo.

$$Q = kxhx \frac{N_f}{N_d}$$

Donde:

Nf: número de líneas de flujo.

Nd: número de líneas equipotenciales

2.3 CLASIFICACIÓN RQD.

En algunos casos, no existe la posibilidad de medir el % **RQD** por lo que puede recurrirse a correlaciones empíricas para su determinación a partir de medidas realizadas en los afloramientos rocosos. Algunas de estas correlaciones son las expuestas a continuación:

- $RQD = 115 - 3,3 J_v$ Palmstrom (1975)
- $RQD = 100e^{-0,1d}(0,1d+1)$ Hudson (1989)

Donde J_v es el número total de discontinuidades por metro cúbico y d la densidad de las discontinuidades.

En cualquier caso, es un índice más, que debe ser contrastado con otros métodos puesto que rocas con el mismo grado de fracturación pueden tener RQD muy diferentes en función del ángulo con el que se perfora respecto con la orientación de las fracturas. De igual forma también se ve afectado por el tipo de maquinaria de perforación, habilidades del sondista, uso de agua, etc.

2.4 MÉTODOS DE CONTROL

Proponen un procedimiento general por el cual, conociendo la calidad del macizo rocoso y parámetros hidrogeológicos, seleccionan una

variante de tres posibles: bombeo (cuando la filtración es baja), inyecciones cementantes (cuando la calidad del macizo es mala y la permeabilidad es alta) y congelación; incluyen además la posibilidad de aplicación de una variante combinada. La técnica de electroósmosis. (Harris y Pollard ,1986)

con la valorización de los criterios técnicos de selección

$$C_{el} = \sum_{i=1}^{i-4} C_i$$

2.4.1 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE TÉCNICA ADECUADA PARA EL TRATAMIENTO DE FILTRACIONES

El procedimiento, esta estructurado en tres etapas, tiene como propósito seleccionar la técnica más adecuada para controlar el agua acida

La primera etapa consiste en caracterizar e identificar los factores que hacen que haya filtraciones

Tabla 2 Factores causantes de las filtraciones.

Factores que hacen que hayan filtraciones en la actividad minera
--

Inundación parcial o total de obras subterráneas	Perdida de estabilidad	Aumento de humedad
Disminución de la cota del nivel de acuífero.	Lavado de las grietas.	Aplicación de revestimiento inadecuado.
Infiltración de las aguas meteóricas y aluviales.	Intemperismo.	Empleo de técnicas no idóneas para el control del agua, o la ausencia de esta
<ul style="list-style-type: none"> Régimen de lluvia Coefficiente de filtración Características naturales y anisotrópicas de la superficie Profundidad de ubicación del túnel. 	<ul style="list-style-type: none"> Disolución de determinados minerales formadores de las rocas por el agua Variación del estado tensional de macizo rocoso 	

La Segunda etapa se selecciona la técnica o combinación de estas que consideran incidentes y distintas técnicas para el tratamiento de las filtraciones de aguas acidas.

Tabla 3 Características de la actividad Minera.

Características de la actividad, minera		
Área y forma de la sección transversal	Numero de grietas por metros Aberturas de grietas	Coefficiente de permeabilidad K_e
Profundidad de ubicación	Espaciamiento entre grietas de una familia	Profundidad del manto acuífero
Longitud del tramo de estudio	Valor del índice de calidad del macizo rocoso	Cantidad de la lluvia caída en una hora
		Caudal a esperar

La tercera etapa permite a partir de la aplicación de 4 grupos de criterios (técnicos, tecnológicos, socio-económicos y ambientales) elegir entre las técnicas seleccionadas en la segunda etapa la más adecuada a la situación específica.

Tabla 4 Valorización de los criterios técnicos de selección

Criterios técnicos (C_1)			
Grado de impermeabilidad que se logra con la técnica	Baja=1	Media=2	Alta =3
Criterios tecnológico $C_2 = C_{tg1} + C_{tg2} + C_{tg3}$			
Disponibilidad de la técnica e Insumos C_{tg1}	Poca=1	Media=2	Alta =3
Nivel de especialización requerida C_{tg2}	Alto=1	Medio =2	Optimo =3
Durabilidad de la técnica C_{tg3}	Poca=1	Media=2	Alta =3
Criterios económicos $C_3 = C_{e1} + C_{e2}$			
Costos de técnicas e insumos C_{e1}	Alto=1	Medio =2	Optimo =3
Productividad de la técnica C_{e2}	Baja=1	Media=2	Alta =3
Criterios ambientales $C_4 = C_{a1} + C_{a2} + C_{a3} + C_{a4}$			
Efectos de la flora y fauna C_{a1}	Alto=1	Medio =2	Optimo =3
Efectos sobre las aguas subterráneas C_{a2+}	Alto=1	Medio =2	Optimo =3
Efectos sobre las aguas superficiales C_{a3}	Alto=1	Medio =2	Optimo =3
Efectos sobre el macizo C_{a4}	Alto=1	Medio =2	Optimo =3

III. RESULTADOS

La permeabilidad de un macizo rocoso está determinada por la condición secundaria a su formación, es decir el fracturamiento. Este fracturamiento representa el medio por el cual fluye el agua subterránea. Para ello es necesario conocer la permeabilidad de la roca a determinadas profundidades y distancia entre puntos de adquisición de datos ya que todo macizo es heterogéneo estructuralmente a nivel local.

Los criterios para determinar la permeabilidad son diversos, pero dependiendo de la zona climática, características mineralógicas y estructurales de la formación rocosa, se debe tener en cuenta el tipo de ensayo a realizar para

alcanzar el objetivo particular y propósito general.

3.1 SELECCION DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.

Las presiones se aplicaron de acuerdo a la profundidad para tener mayor noción de la carga litostatica a la que está sometida el terreno para esto tomaremos la data más representativa de cada perforación.

Data ensayo de lugeón RELAVERA HUANCAPETÍ RECUAY - ANCASH”

Tabla 5 Selección de la unidad de Lugeón representativa Relavera Huancapetí Recuay

STEP	PRESION (bar)	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	
		m/s	LUGEÓN
Pz-01	1.8	7.3882383×10^{-7}	6.91
Pz-02	2.5	9.5344264×10^{-7}	8.92
Pz-03	3.5	1.1689882×10^{-6}	10.93
Pz-04	2.5	1.2362224×10^{-6}	11.56
Pz-05	1.8	1.2566061×10^{-6}	11.75

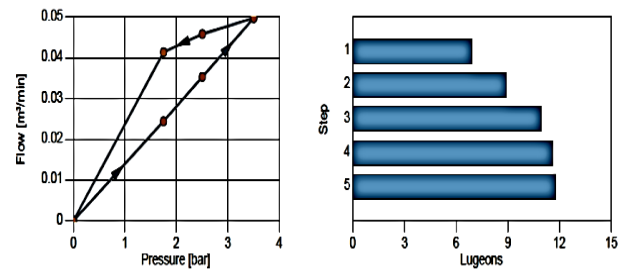


Figura N°4 Diagramas de Absorción – Presión efectiva y Estadio (Relavera Huancapetí Recuay)

3.2 ANÁLISIS DEL RQD

Análisis del agrietamiento y porosidad

- El espaciamiento clasifica como moderado varía de 200 a 2000mm
- Abertura (b) varían de grietas abiertas y muy abiertas ($b > 0.05\text{mm}$)

Tabla 6 Resultados para cada pozo (Relavera Huancapetí Recuay)

PARAMETROS	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05
NUMERO DE FRACTURAS	12	9	10	13	12
CONTADAS EN (m):	1.00	1.20	0.80	1.4	0.9
ESPACIAMIENTO MEDIO(m) X	0.08	0.13	0.08	0.10769	0.13
FRACTURAS / METRO l	12.0	7.5	12.5	9.28571	11.3
N° DE FRACT./m3 Jv	4	5	3	2	3
INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA RQD (%)	56.2	70.9	61.2	58.4	50

Análisis de la correlación entre la calidad del macizo rocoso y la permeabilidad

El valor obtenido viene a ser la mayor presión que le podemos aplicar al ensayo porque el terreno presenta un RQD alto tener en cuenta

que las presiones bajas intermedias van a razón de 0.5 y 0.75 respectivamente de la presión máxima

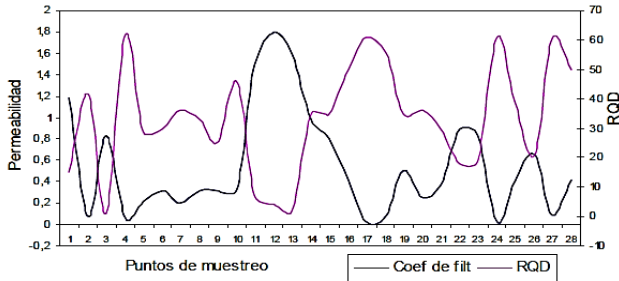


Figura 5 Correlación de la permeabilidad y la calidad del macizo rocoso (RQD) Relavera Huancapetí Recuay

3.3 ELECCION DEL METODO DE CONTROL

Utilización de los criterios para elegir la técnica de control más adecuada

El control será aplicado por tramos.

Para elegir la variante más adecuada se definieron 4 grupos de criterios de elección (El valor de cada grupo de criterios) se obtiene al sumar la evaluación asignada a cada elemento que lo conforma. Se elige como técnica más adecuada aquella que tenga el mayor valor del análisis. El valor final del criterio de elección se obtiene al aplicar la expresión siguiente:

$$C_{el} = \sum_{i=1}^{i-4} C_i$$

Pozo 1 y 3.

Combinación de zanjas de desagüe y hormigón lanzado reforzado valor del criterio de elección $C_{el}=29$ y $C_{el}=30$

Pozo 2 y 4 y 5.

Combinación de drenaje desde el interior de la excavación, zanja del desagüe longitudinal y hormigón lanzado de rápido fraguado.

$C_{el}=26$, $C_{el}=25$ y $C_{el}=26$

Tabla 6 Resultado para cada pozo (Relavera Huancapetí Recuay)

Criterios de Elección	Pz-01	Pz-02	Pz-03	Pz-04	Pz-05	
C1	3	3	3	3	3	
C2	C_{tg1}	3	2	2	2	3
	C_{tg2}	3	2	2	2	3
	C_{tg3}	3	3	3	3	3
C3	C_{el}	3	2	1	1	3
	C_{e2}	2	2	2	2	3
C4	C_{a1}	3	3	3	3	2
	C_{a2}	3	3	3	3	2
	C_{a3}	3	3	3	3	2
	C_{a4}	3	3	3	3	2
C_{el}	29	26	30	25	26	

IV. DISCUSIÓN

(JUAREZ,1980), La Ley de Darcy es válida en tanto exista el flujo laminar. En el suelo, el flujo de agua es posible, si existe una diferencia de carga de presión entre dos puntos de la trayectoria del flujo.

Sim embargo solo se dará, asumiendo que en el suelo la resistencia al flujo de agua a lo largo de las partículas es constante se asume que para un suelo dado y a una diferencia de carga de presión dado por:

$$h = h_1 - h_2$$

la velocidad del flujo es inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria del flujo L.

$$V = k * \frac{n}{l}$$

$$V \approx 1/l$$

El coeficiente de permeabilidad K es función de la viscosidad n, relación de vacíos e, depende del tamaño y forma de las partículas del suelo y de la densidad del suelo.

En la presente investigación se pretende obtener la permeabilidad de la parte inferior de cada sondaje e interpretar relacionando su ubicación con respecto a los otros puntos y obtener una integración de los datos adquiridos.

CLASIFICACIÓN DE PERMEABILIDAD POR LUGEON

Muestran resultados a tomar en cuenta para el tipo de control y otros estudios para remediar filtraciones de agua subterránea con soluciones acidas provenientes de la mina o excavación subterránea que puedan alterar el medio ambiente.

La porosidad primaria de la litología no se relaciona a los resultados obtenidos de permeabilidad.

A continuación, el cuadro de clasificación de discontinuidades de Houlsby y las condiciones finales de los resultados de la conductividad hidráulica determinados en base.

Tabla 7 Clasificación lugeón

Rango lugeón	clasificación	Rango de conductividad hidráulica	Condición del macizo rocoso (discontinuidades)	Reporte de precisión lugeón
<1	Muy bajo	< 1x5x10 ⁻⁵	Muy estrecho	<1
1-5	bajo	1x10 ⁻⁵ -6x10 ⁻⁵	estrecho	±0
5-15	Moderado	6x10 ⁻⁵ -2 * 10 ⁻⁴	Parcialmente abierto	±1
15-50	Medio	2x10 ⁻⁴ -6 * 10 ⁻⁴	algunos abiertos	±5
50-100	Alto	6x10 ⁻⁴ -1 * 10 ⁻³	Muchos abiertos	±10
>100	Muy alto	> 1 * 10 ⁻³	Espacios vacíos	>100

V. CONCLUSIONES:

El procedimiento descrito, permite la elección del método de control que más se adecua a las condiciones de la excavación subterránea afectada por las filtraciones de agua, a partir de caracterizar los principales elementos que inciden en el proceso de infiltración y control del agua.

No existe una relación directa entre la litología y la permeabilidad, al tratarse de rocas el factor más importante es el estructural, ya que el control de las discontinuidades determinará la conductividad hidráulica en los sectores estudiados.

Se concluye también que, mediante una evaluación adecuada, la representación y control será óptima en un plazo determinado. Así también se recomienda la supervisión continua y la realización de estudios posteriores para posibles emergencias.

Las metodologías que son empleadas para obtener la conductividad hidráulica a partir de datos de inyección de agua del ensayo de

Lugeón, se basan en principios teóricos de medios porosos, considerando recarga de acuíferos, algo que no corresponde a un medio fracturado en rocas donde la conductividad hidráulica está controlada por estas discontinuidades.

REFERENCIAS

- Harris, J. S. & Pollard, C. A. (1986). *Some aspects of groundwater control by ground freezing and ground grouting methods*. Paper .
- Reid, David - (1 995) - *Mecánica de Suelos – Department of Civil Engineering, University of Salford*
- Juárez, E; RODRIGUEZ, A.R. – (1980) *Mecánica de suelos tomo I fundamentos de mecánica de suelos – Editorial LIMUSA, México*
- Altamiranda, D. (noción de permeabilidad utilizando teoría fractal en campos de Venezuela y Estados Unidos” . Tesis de grado, Universidad Simon Bolivar, Sartenejas.
- Taylor, D. – (1961)– *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos – Compañía Editorial Continental S.A., México*
- ASTM International, *Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation Designation: D 2113 – 99*, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM International, *Standard Test Method for Determining Transmissivity and Storage Coefficient of Low-Permeability Rocks by In Situ Measurements Using the Constant Head Injection Test Designation: D 4630 – 96 (Reapproved 2002)*, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Camilo F, Gaspar M, *¿Son Adecuadas Las Permeabilidades Obtenidas A Partir De Ensayos Lugeón Para Estimar La Conductividad De Un Medio Fracturado*, Conference Paper . September 2014, Colombia.
- Camilo Quiñones-Rozo (1991), *Lugeon Test Interpretation, Revisited*, URS Corporation, .
- Chumpitaz C. (2007) *Estudio Geotécnico y Geognóstico del Sub Suelo Mediante Perforación Diamantina*, Universidad Ricardo Palma, Lima 2007.
- Cobbing John, Sánchez Agapito, Martínez William, Zárate Héctor, *Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca*,