

## PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR EL SISTEMA IDÓNEO PARA CONTROLAR EL AGUA QUE PUEDE AFECTAR EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA OBRA SUBTERRÁNEA

Armando Cuesta Recio<sup>(1)</sup>, Carlos Trincado Cruz<sup>(2)</sup> Roberto Watson Quesado<sup>(4)</sup> y Yosvanis Cervante<sup>(3)</sup>

<sup>(1,3 y 4)</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, las Coloradas s/n, Moa. CP: 83329.

<sup>(2)</sup> Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín.

### RESUMEN.

No siempre en los proyectos de construcción de obras subterráneas, se analizan las afectaciones que puede provocar el agua subterránea, y en muchos casos se trata la problemática con insuficiente profundidad y en otros casos de forma remediar lo que ha traído como consecuencia en muchos casos la aplicación de soluciones no consideradas en el proyecto inicial influyendo en los costos generales del proyecto, en el trabajo se propone la utilización de una metodología integral para seleccionar el sistema idóneo para controlar el agua que puede afectar una obra subterránea.

La metodología considera y caracteriza una serie aspectos importantes que van desde las características naturales y antrópicas del terreno, hasta las características de la obra, aspectos que tienen influencia en los proceso de infiltración control y deterioro que produce en agua en una obra subterránea. Para la elección de la vía o variante para el control del agua que se infiltra y afecta la obra subterránea, se propone un algoritmo de selección que considera los aspectos más importantes que influyen en los procesos de filtración y control del agua recogido en la siguiente expresión que evalúa la calidad del macizo afectado por la presencia de agua.

$$C_w = (K1 \times 94,5 - 1,3 \times J_v - 0,47 \times C.g) \times K2$$

Donde.

K1- Coef considera la resistencia a Compresión.

K2- Coef. Que considera la presencia de agua.

C.g- Características del agrietamiento

Jv-. Número de grietas por metro lineal.

En trabajo se realizó en obras del Tránsito Este-Oeste que se ejecuta en la provincia de Holguín, en la que el agua tiene una marcada influencia en el proceso constructivo.

Otro aspecto que se trata en el trabajo es la propuesta de soluciones para mitigar el impacto que estas construcciones subterráneas y variantes para el control del agua, provocan en los recursos hídricos.

### ABSTRACT.

It is not always analysed, in the projects of underground construction, the affectations that underground water can cause and sometimes this problem is treated with insufficient profundity and in other situations this problem is treated in the form of a remedy which has resulted as consequence the application of unconsidered solutions in the initial project, influencing in the general costs of the project. In this paper we propose the use of an integral methodology to select the appropriate system to control the water that can affect an underground construction.

This methodology considers and it characterizes a series of important aspects that begin from the natural and unnatural characteristics of the land, to the characteristics of the underground construction, aspects that influence in the process of seepage control and deterioration that takes place in water in an underground construction.

For the election of the method or variant for the control of the water seepage that affects the underground construction, we propose an algorithm for the selection which considers the most important aspects that influence in the processes of filtration and control of the water, taken from the following expression that evaluates the quality of the rock mass affected by the presence of water.

$$C_w = (K1 \times 94,5 - 1,3 \times J_v - 0,47 \times C.g) \times K2$$

Given as

K1 - Coef considers the resistance to Compression.

K2 - Coef. That it considers the presence of water.

C.g - Characteristic of the cracking

Jv - Number of cracks for lineal meter.

This investigation was carried out in the Tránsito Este-Oeste that is constructed Holguín-Cuba, in which the water has a marked influence in the constructive process.

Another aspect that is treated in this paper is the proposal of solutions to mitigate the impact that these underground constructions and variants for the control of the water, cause in hydraulic resources.

## INTRODUCCIÓN.

Generalmente no siempre se toma en consideración gastos adicionales en que se puede incurrir cuando no se considera la presencia el agua ni sus posibles afectaciones. Muchos proyectistas y constructores resuelven estas afectaciones modificando el proyecto a pie de obra durante la ejecución de la misma, provocando gastos adicionales con considerado en el proyecto.

Este aspecto ha sido la causa que se detenga la ejecución temporal o permanente de obras subterráneas en construcción.

Muchos de estos problemas que se presentan en los proyectos no se deben categóricamente, al desconocimiento de los proyectista y ejecutores, sino a al uso metódico de las criterios de para la evaluación de la calidad de los macizos rocosos (clasificaciones, geomécanias) para la selección de los sostenimientos y fortificaciones del macizo y las excavaciones. Generalmente estos criterios o metodologías no proponen variantes para el control del agua y evitar las afectaciones que estas producen (Hoek, 2007; Romana-Ruiz, 2001; Romana-Ruiz, 2002)

Debido a la deficiencia de estas clasificaciones se hace necesario crear y proponer criterios o procedimientos que faciliten de clasificación de los macizos afectados por el agua que consideren además de las fortificaciones y sostenimientos, vías para controlar el agua y las afectaciones que esta produce al macizo y las construcciones.

Muchos autores reconocen la incidencia que tiene de la presencia del agua en las construcciones subterráneas(González, 2005; Lipponen et al., 2005).e incluso han tenido que tratar de forma remediar estas situaciones.

Existen ejemplos en nuestro país que ilustran y demuestran la necesidad de un procedimiento con estas características:

Durante la ejecución de un emboquille en el tránsito Este Oeste que se construye noreste de las provincias Orientales, la presencia del agua subterránea, e incluso la superficial a producido serias perdidas de tiempo, debido a la necesidad de evacuar el agua de la excavación, en las fotos # 1 y2 se puede observar la trinchera de entrada y el emboquille al inicio del túnel Ojo de agua -Yagrumal.



Fig.# 1 Trinchera de acceso al emboquille



Fig #.2 Emboquille del túnel Ojo de agua yagrumal

En el poder popular de Moa Municipio de Holguín Cuba, existen documentos que recogen como causa del abandono de un túnel en el reparto caribe a causa de la gran cantidad de agua que llegaba a la excavación.

Algo similar ocurrió con una obra que se muestra en la foto # 3 y 4 donde el jefe de la obra en un túnel que se inundó a causa del agua que se infiltró producto a más de 89 mm de precipitaciones que cayeron en el municipio lo que se unió con una excavación que existía aguas arriba en el túnel que acumuló parte del agua que se filtró a la obra.



Fig. # 3 Nivel alcanzado por el agua



Fig. # 4 Reservorios de agua

Desde el pto. de vista geomecánico, el agua juega un papel importante en la variación de la resistencia de las rocas meteorizadas y blandas con el tiempo, reduciendo su resistencia; cuando la roca es porosa, debido a la presión de poros inducida por el agua, disminuye su resistencia que une las partículas; en las zonas de fallas generalmente, muy meteorizadas, constituyen un camino perfecto para el agua, además, esta disminuye el esfuerzo que puede soportar el macizo en  $\sigma_{\text{agua}}=U$

(Custodio and Ramos, 1997; González, 2005), la presencia de agua diluye determinados minerales componente de las rocas que pueden llegar a formar conductos subterráneos. Estos efectos como resultado de la presencia del agua provocan problemas geotécnicos que influyen en el proceso de construcción, dentro de los que se pueden mencionar la aparición de cavidades durante el laboreo de excavaciones, rellenos o vacíos oquedades, el hundimiento de superficie, colapso del techo, asociado o no con el hinchamiento, asentamientos, pérdida de estabilidad a consecuencia del aumento del peso volumétrico de la roca, o a su pérdida de resistencia entre otros problemas que pueden aparecer (Cuesta, 2005a).

La evaluación y propuestas de sostenimientos obtenida a través de la utilización de diferentes criterios geomecánicos para evaluar la calidad del macizo tienen probada efectividad para las condiciones en donde fueron creadas y son aplicables a múltiples condiciones; pero la presencia de agua disminuye la efectividad de las mismas debido a las soluciones que proponen. Incluso Romana Ruiz (Romana-Ruiz, 2000) quien propone soluciones para emboquilles a partir de los criterios de Bieniawski, no satisfacen los problemas presentados en algunos emboquilles del trasvase Este-Oeste.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

Para la realización del trabajo se realizó un estudio de varias metodologías para la clasificación de los macizos rocosos, desde la propuesta por Terzaghi's en 1946 (Hoek, 2007; López-Jimenez and autores, 1997) hasta las más actuales y utilizadas recientemente en múltiples proyectos entre las que se encuentran.

Se utilizó la técnica de encuesta para corroborar la importancia concebida por nosotros a los parámetros con incidencia en el proceso de infiltración, control del agua y deterioro que esta provoca en macizos y excavaciones, se procesaron las encuestas realizadas ver Anexo 1.

Las propiedades necesarias para el estudio se determinaron en el lab. de Propiedades físico-mecánica de las rocas del ISMM (propiedades másica y de resistencias) otras en el lab de la Empresa proyecto e investigaciones hidráulicas de Holguín.

Se utilizó el procedimiento propuesto por el autor (Cuesta, 2005b), el cual se ha ajustado y validado en túneles del trasvase este Oeste

## **RESULTADOS**

El procedimiento propuesto se aplica efectivamente en macizos rocosos afectados por la presencia de agua, con el cual se podemos obtener un criterio de la calidad de macizo e inferir el comportamiento de excavación subterránea, y se pueden utilizar las propuestas para controlar las filtraciones de agua e impedir las afectaciones que esta pueden producir a corto o largo plazo.

Consideramos que estas soluciones son integrales desde tres puntos de vista.

- 1- Se logra controlar el agua que afecta una etapa de construcción.
- 2- Se conserva y sostiene el espacio laboreado.
- 3- Con las variantes propuestas se trata de afectar lo menos posible el régimen hidrológico y la calidad de las aguas subterráneas.

Aspectos que considera el procedimiento para seleccionar una vía para evitar las afectaciones que produce el agua a en las obras subterráneas.

1. *Determinación de características naturales y antrópicas.*
2. *Características del macizo rocoso.*
3. *Característica sísmica.*
4. *Parámetros y características hidrográficas.*
5. *Régimen hidrogeológico.*
6. *Características de la excavación.*
7. *Propuesta de las vías para evitar las afectaciones producidas por el agua a las excavaciones subterráneas, con la utilización del algoritmo de elección.*
8. *Valoración integral y selección de la vía para evitar las afectaciones producidas por el agua a las excavaciones subterráneas.*

Descripción de los aspectos de la metodología que considera valoraciones cualitativas y cuantitativas del área sobre la cual se proyectará.

Características naturales y antrópicas.

De este aspecto se proponen el análisis de:

La vegetación, el nivel de compactación, composición granulométrica y pendiente de la superficie bajo la cual yacerá la construcción.

Características del macizo rocoso.

**Litología** para esta caracterización proponemos que se empleen los grupos lito estructurales propuestos por Nicholson y Hencher en 1997 (Suárez\_Díaz, 1998)

**Composición química.** Para este aspecto recomendamos La observación visual macroscópica y microscópica por especialistas competentes y/o el análisis por difracción por rayos X

**Estratos, Plegamientos y Fallas.** La caracterización de estas estructuras geológicas se determinarán a partir de las perforaciones que se realizan para el estudio geológico y donde se le prestará especial atención a las fallas, no se descarta la utilización de métodos geofísicos.

**Porosidad,** la misma se determina experimentalmente De forma analítica si se considera un volumen determinado de una muestra de roca ( $V$ ), la porosidad ( $m$ ) se determinaría por la siguiente expresión.

$$m = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad \text{Donde: } V_v - \text{volumen de huecos o de poros}$$

También se puede determinar a través de métodos geofísicos.



**Agrietamiento:** Principal vía por la cual penetra y se desplaza el agua en los macizos fuertes y agrietados, es estudio del mismo se debe realizar por tramos litoestructuralmente iguales y tomando mediciones del azimut de buzamiento, Buzamiento, abertura, rugosidad, tipo de relleno, persistencia y espaciamiento. A partir del espaciamiento se determinará la cantidad de grietas por metros cúbico a partir de los criterios de *Palmström* (PALMSTRÖM and Roldán., 2000)

$$J_v = k_1 * N_1 \quad (1)$$

$k_1$  factor que variará con la distribución de las grietas para **una unidad de área**(1.15 -1.5)

$N_1$ -numero de grietas por metro cuadrado.

También se le denomina conteo volumétrico de grietas ( $J_v$ ), y es utilizado en varias clasificaciones geomecánicas (Barton Lien y Lunde ) y se puede determinar por la siguiente expresión. (Hoek, 2007; Hoek. and Brown., 1986)

$$J_v = \sum \left( \frac{1}{S_i} \right) \quad (2)$$

Donde:

$S_i$  – Espacio entre grietas de la familia  $i$

Los elementos de yacencia de las grietas se procesarán con ayuda del DIPS versión 2.22 de E. Hoek(Hoek, 1998)

### **Propiedades Físico-Mecánica**

Se determinan las propiedades de resistencia (compresión y tracción) y se determina además el coeficiente de reblandecimiento, utilizando los métodos conocidos. (método Standard (compresión uniaxial, método Brasileño)(Otaño, 2000)

**Características sísmicas.** debido a la necesidad de que las propuestas sean capaces de absolver los esfuerzos generados por los sismos(Mondeja-Oquendo., 2001)

### **Características hidrográficas.**

**Régimen de lluvia.** Se toma el comportamiento de las lluvias y la influencia en la recarga del manto freático

**Presencia de arroyos, ríos o embalses.** Se consideran aquellos que pueden influencia directa sobre la obra a construir, o indirecta por el aumento del nivel del piezométrico a consecuencia de la conductividad hidráulica (K)

### **Características hidrogeológicas.**

Nivel del manto freático, este se determina a partir de las perforaciones para los estudios geológicos, y siempre que sean posible se encamisan algunas perforaciones para estudiar el comportamiento hidrogeológico.

Coefficiente de permeabilidad (K.) **este parámetro se determina a partir de los ensayos o pruebas a presión o por cubeto.**

**Caudal esperado Q**, proponemos que se determine analíticamente por el método propuesto por Goodman (Kolymbas and Wagner, 2006)

**Agresividad del agua.** Se determina a través de la DIN 4030 (López-Jimenez and autores, 1997), lo que permitirá tomar decisiones sobre los materiales a utilizar para al control del agua.

### **Características de la excavación.**

**Profundidad de ubicación.**

**Método de arranque.**

**Destino y vida útil de la excavación.**

### **Propuesta de las vías para evitar las afectaciones producidas por el agua a las excavaciones subterráneas.**

Para seleccionar las posibles propuestas de las vías que pueden aplicarse en nuestro país, se realizó un análisis de los sistemas para al control del agua utilizados en 96 túneles en Cuba y a nivel internacional, se evaluó la posibilidad de introducir o proponer algunas variantes aplicables en nuestras condiciones, en función de futuras obras subterráneas, y la recuperación económica del país.

Estas vías fueron integradas a un algoritmo integral que contempla además una serie de aspectos tratados anteriormente, que facilitará la selección adecuada bajo un enfoque integral. Ver anexos 2.

#### **Propuesta del algoritmo de elección.**

Descripción del algoritmo.

El primer análisis que se realiza en para la utilización del algoritmo es la posibilidad real de que el agua afecte la obra proyectada, en construcción o en explotación, ya sea por las agua meteóricas que se filtran o por encontrarse la construcción por debajo del nivel piezométrico.

Si el agua no afecta la obra subterránea, entonces se propone utilizar las metodologías propuestas por Barton y Bieniawski (Romana Ruiz). Para el análisis de la calidad del macizo y la propuesta de los sistemas de sostenimientos y fortificación.

Cuando existe la posibilidad de que el agua pueda afectar la obra subterránea, proponemos utilizar nuestro procedimiento.

Los datos iniciales en los que se basa la conformación del algoritmo son las variables principales que forman parte de la ecuación obtenida para valorar la calidad del macizo afectada por el agua (Cuesta, 2005a).

$$C_w = (K1 \times 94,5 - 1,3 \times J_v - 0,47 \times C.g) \times K2 \quad (3)$$

El número de grietas  $J_v$ , para su mejor exactitud se tomará para un metro cuadrado de superficie rocosa que aflora (formula #2), o en el interior de una excavación y en la etapa de investigaciones geológicas se recomienda que se tome partiendo de un metro lineal de testigo de perforación (formula #1)

Para la resistencia a compresión de la roca (K1 ver Tabla 1), se deberá tomar varias muestras en diferentes puntos de muestreo a lo largo del eje de la obra, y se utilizará el método estándar con muestras regulares o semi irregulares.

Valor de resistencia a compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Descripción de la resistencia	Valores de K1
< 250	Muy baja	0,5 – 0,6
250 - 500	Baja	0,6 - 0,7
500 - 750	Medianamente alta	0,7-0,8
750 - 1000	Alta	0,8-0,9
>1000	Muy alta	>0.9 <= 1

Tabla #1 Muestra los valores de K1 considerando la resistencia a compresión

Para las características del agrietamiento (C.g ver tabla # 2) se tomo considerando las grietas planas lisas y rugosas que son las que mayormente abundan en los macizos ofilíticos del norte y noreste de las provincias orientales de Cuba.

Denominación de las características del agrietamiento			Valor de C.g
Abertura (b)	Relleno	Rugosidad	
Muy cerrada	-	Rug./lisa	1
Cerrada	Rellena	Rug./lisa	
Cerrada	-	Rug/lisa	2
Parcialmente abierta	Rellena	Rug/lisa	2
Parcialmente abierta	-	Rug/lisa	3
Abierta	Rellena	Rug/lisa	2 - 3
Abierta	-	Rug	3 - 4
Abierta	-	Lisa	3,5 - 4,5
Moderadamente Abierta	Rellena	Rug/lisa	3 - 4
Moderadamente Abierta	-	Rug.	4,5 - 5
Moderadamente Abierta	-	Lisa	5
Muy abierta	Rellena	Rug/lisa	4,5 - 5
Muy abierta	-	Rug/lisa	6

Tabla # 2 Propuesta de valores que caracterizan el agrietamiento (C.g)

Las características de la presencia de agua en la excavación (K2 ver tabla # 3) se toma a partir de observar visualmente como se manifiesta la misma.

Descripción de la presencia de agua	Valor de K2
Seco	1
Goteos por el techo	0.9
Goteos por el techo y fluye por los lados	0.8
Flujo por el techo y lado con lavado parcial de las grietas	0.7
Flujo a presión por las grietas en todo el perímetro de la excavación con un lavado total de las grietas 0.6	0,5 - 0,6

Tabla # 3 Propuesta de valores que caracterizan la presencia de agua (K2)



La formula # 3 nos devuelve el valor de la calidad del macizo afectado por el agua ( $C_w$ ), cuyos valores oscilan entre 1 y 100 (ver tabla # 4), la cual se dividió en 5 categorías.

Denominación	Valores de $C_w$	Categorías
Macizo muy bueno	81-100	C1
Macizo bueno	61-80	C2
Macizo de calidad media	41-60	C3
Macizo malo	21-40	C4
Macizo muy malo	0-20	C5

Tabla # 4 Calidad del macizo afectado por el agua ( $C_w$ )

La categoría del macizo afectado por el agua (C) permite entrar al algoritmo por una de las dos ramas posible (macizos muy buenos a macizo de calidad media) y Macizos Malos y muy malos, para los macizos del primer grupo se analiza el nivel de saturación del manto freático y en función de la calidad se proponen las posibles variantes de soluciones, generalmente hay más de una propuesta por categoría.

En el segundo grupo al que pertenecen los macizos malos y muy malos, se analiza de igual manera el nivel del manto freático, y posteriormente la inyectabilidad del macizo, ya que la inyección se podrá utilizar para consolidar el macizo, pero también como vía para evitar que el agua penetre a la obra y produzca afectaciones (vía de impermeabilización.)

## DISCUSIÓN.

Los criterios para la evaluación geomecánicas de los macizos rocosos mas utilizados a nivel mundial propuestos por Batton(BARTON and GRIMSTAD, 1998; Hoek. and Brown., 1986), Bieniawski ed at(Romana-Ruiz, 2002) tienen probada efectividad, sin embargo en determinadas situaciones las prestas de sostenimiento no satisface todas las problemáticas existente que van mas allá del preservar el espacio laboreado.

En el caso de rocas ultrabásicas presente en el complejo ofiolítico de norte y noreste de las provincias Orientales, cuando existe presencia de agua y las rocas tienen calidad medio o mala, no se considera la afectación que produce el agua en estas rocas ni la disminución de las propiedades de resistencia ya comprobadas en estas rocas por esa causa, lo que se expresa a través de los coeficientes de reblandecimiento y de estoicidad

Y existen varios ejemplos de reparaciones de túneles debido a al deterioro de las rocas en el contorno de la excavación expresado en la disminución de su capacidad portante.

En nuestro procedimiento parte de la simplificación de los parámetros a utilizar para evaluar la calidad del macizo desde el punto de vista hidráulico, para lo cual se propone que se utilicen características del agrietamiento, propiedades de resistencia y la forma en que se manifiesta el agua en la excavación. Este último aspecto lo consideran varios investigadores pero valoran la influencia de este en el conjunto macizo excavación a largo plazo.

Se hacen propuestas de vías y métodos para alargar evitar o disminuir este periodo de deterioro, del conjunto macizo-excavación proponiendo vías para controlar el agua que produce esta afectación a corto y largo plazo entre ellas las inyecciones.

## CONCLUSIONES

Las soluciones propuestas permiten controlar el agua que se infiltra a una obra subterránea, disminuyendo así la posibilidad de afectar el conjunto macizo excavación.

La información que recoge el procedimiento da una idea general y muy explícita de todos los aspectos que inciden en el proceso de construcción en el área de estudio.

El procedimiento permite evaluar la calidad del macizo con un menor número de parámetros a través de la expresión propuesta.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARTON, N. and GRIMSTAD, E., 1998. El sistema Q para la selección del sostenimiento en el método noruego de Excavación de túneles. In: N.G. INSTITUTE (Editor). NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE.
- Cuesta, A., 2005a. Metodología integral de selección del sistema de control del agua para evitar las posibles afectaciones en las obras subterráneas, Primera Conv Inter de las Geociencias y la Química Aplicada. Const. SGQ(UNIACC), Santiago de Cuba, Cuba.
- Cuesta, A., 2005b. Metodología para disminuir los riesgos de afectaciones producidas por el agua en las obras subterráneas, I Convención de Cubana de Ciencias de la Tierra, Congreso de Geología y Minería.
- Custodio, E. and Ramos, M.L., 1997. Hidrogeología subterránea. Omega S.A, Barcelona España, 988 pp.
- González, A., 2005. Hidráulica del Macizo Rocosos, Riesgos Geodinámicos en la Actividad Minera. Cytel XIII Moa Cuba.
- Hoek, E., 1998. DIPS 2.22.
- Hoek, E., 2007. Practical Rock Engineering. In: A.A. Balkema (Editor). RockScience.com.
- Hoek, E. and Brown, H., 1986. Underground excavation in hard rock. Institution of Mining and Metallurgy, England, 642 pp.
- Kolymbas, D. and Wagner, P., 2006. Groundwater ingress to tunnels - The exact analytical solution. Tunnelling and Underground Space Technology., 22(2): 23 - 27.
- Lipponen, A., Manninen, S., Niini, H. and Ranka, E., 2005. Effect of water and geological factors on the long-term stability of fracture zones in the Pääjärvi Tunnel. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 42: 3-12.
- López-Jiménez, C. and autores, C.d., 1997. Manual de túneles y obras subterráneas, I. Entorno Gráfico, Madrid España, 1081 pp.
- Mondeja-Oquendo, O., 2001. Metodología para la elección de los sostenimientos en excavaciones subterráneas de pequeña sección influenciadas por la acción sísmica. PhD. Thesis, ISMM, Moa Holguín\_Cuba, 102 pp.
- Otaño, J., 2000. Fragmentación de Rocas. Félix Varela, Habana Cuba, 198 pp.
- PALMSTRÖM, A. and Roldán, J.M., 2000. Recent developments in rock support estimates by the RMI. Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, 6(1): 1-19.
- Romana-Ruiz, M., 2000. Uso de clasificaciones geomecánicas en las bocanillas de túneles. INGEOPRESS.
- Romana-Ruiz, M., 2001. Recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles. Revista Obras Públicas, Madrid España, 148(3408): 19-28
- Romana-Ruiz, M., 2002. Nuevas recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles y bocanillas. Universidad Politécnica de Valencia España.
- Suárez\_Díaz, J. (Editor), 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. versión digital, 472 pp.

**Anexo 1: Encuesta distribuidas entre especialistas nacionales y extranjeros.**

Estimado colega apoyado en su experiencia, nos dirigimos a Ud, ya que necesitamos sus criterios para valorar la influencia de los factores y parámetros que aparecen en la tabla, sobre los procesos de filtración de agua, las vías para el control de las aguas y el deterioro del macizo en acción conjunta con el agua. Todo referido a obras subterráneas.

La tabla será llenada de acuerdo con las indicaciones siguientes:

Se seleccionará con una X las variables que UD. considere que influya determinantemente en cada uno de los procesos (filtración, control de la filtración y deterioro del terreno).

Se le dará un valor de 1 a 5 a cada variable señalada en correspondencia con el grado de influencia sobre el proceso.

Será muy útil que UD. Agregará, si así lo considera, otros parámetros que orienten su selección, o no estén recogidos en la tabla.

<u>Especialista en</u> _____ <u>años de</u> _____ <u>experiencia</u>		Procesos en que intervienen, puntuación					
		Filtración		Control de las filtraciones		Deterioro del terreno	
<u>Parámetros o factores influyentes</u>		¿Influye ?	Pts	¿Influye ?	Pts	¿Influye ?	Pts
<b>Características antrópicas y naturales</b>	<i>Naturales.</i>	Vegetación.					
		Compactación.					
		Pendiente.					
	<i>Antrópicos.</i>	Nivel de urbanización					
Industria y tipo							
<b>Características del macizo</b>	<i>Características</i>	Litología.					
		Composición química.					
		Plegamiento					
		Fallas.					
		Estratificación					
		Agrietamiento					
	Porosidad						
<i>Propiedades</i>	Propiedades física-mec						
	Estado tensional						
<b>Características sísmicas</b>							
<b>Caract. Hidrográfica</b>	<i>Regímen de lluvia.</i>						
	<i>Presencia de ríos y arroyos.</i>						
	<i>Presencia de embalses.</i>						
<b>Régimen Hidrogeológico</b>	<i>Construcción en estratos no saturados.</i>	Lamina de infiltración					
		Coef. de filtración					
		Caudal del flujo de filtración					
	<i>Construcción en estratos saturados.</i>	Coef. de filtración					
	Caudal de flujo						
<b>Características de excavación</b>	<i>Profundidad de Ubicación.</i>						
	<i>Forma y dimensiones de la excavación.</i>						
	<i>Destino y vida útil de la Excavación.</i>						
	<i>Método de arranque.</i>						
	<i>Tipo de sostenimiento y /o fortificación</i>						

Muchas gracias por dedicarle tiempo a llenar esta tabla muy útil para nuestras investigaciones.

## **ANEXO 2 Nomenclatura utilizada para la designación de procesos.**

- $C_w$  – Calidad del macizo.
- Pint- pintura impermeabilizante.
- D – considera la formación de un sistema de desagüe preferentemente por detrás del revestimiento, de forma que sea aplicables a túneles hidráulicos.
- HL – Hormigón lanzado.
- HL con fibra – Hormigón lanzado reforzado con fibras (metálicas o polietileno)
- Inj I – Inyección de consolidación
- Inj II - Inyección para la disminución de la afluencia de agua.
- L - Lámina impermeable o de estanqueidad.
- G- geomembranas o geotextiles.
- HA - Hormigón Armado in situ
- H.A.P Hormigón Armado prefabricado (el relleno con mortero, es para mejorar la interacción entre la pieza, el macizo)
- Acelerador – sustancias utilizadas para acelerar el proceso de endurecimiento del hormigón, de forma que asimile rápidamente cargas.+
- $N_1$  Se considera la utilización de cortinas de pozos de drenajes de forma temporal con la utilización de pozos u otras vías de recargar el manto.
- $[N_2]$  Considera la posible utilización del drenaje del manto desde el interior de la una excavación lo que afecta menos al manto freático u la utilización del Método de Oberhasli.
- $[N_3]$  analizar la posibilidad de sustituir el armado acero corrugado pr las las fibras metálicas debido a las ventajas que la misma ofrece.

### **Variantes**

Variante 1 Desagüe con bombeo o por gravedad + Pint + HL  $[N_1]$

Variante 2 Desagüe con bombeo o por gravedad + HL de fraguado rápido  $[N_2]$

Variante 3 Drenaje puntual +D+ H.L.R.F de fraguado rápido  $[N_2]$

Variante 4 Drenaje del manto +D+ HL.R.F  $[N_2]$

Variante 5 Drenaje del manto +D + H.R.F situ de rápido fraguado.

Variante 6 Zanga de desagüe o bombeo + Pint + HL

- Variante 7 Zanga de desagüe o bombeo + H.L.R.F
- Variante 8 Drenaje del frente desde el interior + Zanga de desagüe +HL.R.F de fraguado rápido
- Variante 9 Inj p I + HL.R.F + D+ HL.R.F
- Variante 10 Inj p I +HL.R.F + drenaje int +D + H.R.F in situ
- Variante 11 Inj p I +HL.R.F + drenaje int +D + HL.R.F
- Variante 12 Inj p I +HL..R.F +D +H.A.P+ relleno con mortero
- Variante 13 HL.R.F rápido fraguado + G+D +L + HL .R.F
- Variante 14 HL.R.F rápido fraguado +G+D +L + H.R.F in situ
- Variante 15 HL.R.F rápido fraguado +G +D +L+ H.A.P + relleno con mortero.
- Variante 16 Inj. I, II + H.L.R.F + G +D + L + HL
- Variante 17 Inj. I, II + H.L.R.F +G+D + L + H.R.F in situ
- Variante 18 Inj. I, II + H.L.R.F + G +D + L + H.L.R.F
- Variante 19 Inj. I, II + H.L.R.F +G+D +L + H.A.P+ relleno con mortero
- Variante 20 HL con fibra rápido fraguado+ G +L + HL.R.F +D
- Variante 21 HL con fibra rápido fraguado +G+L + H.R.F in situ +D
- Variante 22 HL con fibra rápido fraguado +G +L+ H.A.P + relleno con mortero+D.
- Variante 23 HL.R.F de rápido fraguado+ G +D +L + HL.R.F
- Variante 24 HL..R.Fde rápido fraguado +G+D +L + H.R.F in situ
- Variante 25 HL..R.F de rápido fraguado +G +D +L+ H.A.P + relleno con mortero
- En los falsos túneles que se ubican en los interceptos o calicatas intermedias, la variante a utilizar puede ser Variante 21, modificando el hormigón lanzado por hormigón insitu reforzado con fibras de acero
- Variante 26 H.R.F in situ +G +D +L+ H.R.F in situ.