

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

## UNA METODOLOGÍA RECIENTE PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE EN MACIZOS ROCOSOS Y EN EL CONCRETO

### A RECENT METHODOLOGY FOR OBTAINING THE SHEAR STRENGTH OF ROCK MASS AND CONCRETE

**Roberto Ucar Navarro**  
Profesor Facultad de Ingeniería  
Universidad de Los Andes, Venezuela

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

**Roberto Ucar Navarro**  
Ingeniero de Minas, Universidad Central de Venezuela  
Master en Mecánica de Rocas, University of Missouri, Rolla  
Ph.D. McGill University, Canadá  
Profesor titular Universidad de Los Andes, Venezuela .  
Asesor y proyectista en el campo de la geotecnia  
Premio Nacional de Ingeniería, Venezuela, 1991  
Autor del Manual de Anclajes en Ingeniería Civil, 2004  
Miembro de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Venezuela, 2011  
Profesor Invitado Universidad de Zaragoza, España

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

## Introducción

- Se ha desarrollado una expresión analítica que permite hallar la resistencia al corte en rocas y en materiales de rotura frágil como el concreto en función de los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ .
- A través de este nuevo criterio empírico de rotura bidimensional se ha determinado la tensión normal actuando sobre el plano de rotura al resolver la ecuación diferencial lineal de primer orden, y por ende la envolvente de falla.

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_c}\right) = K_1 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi\right) + K_2 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi\right)^{1/2}$$

$\xi$  es un parámetro adimensional que define el cociente de  $\sigma_t$  entre  $\sigma_c$ .

$\sigma_c$  y  $\sigma_t$  representan la resistencia a la compresión sin confinar y a la tracción de la roca intacta (matriz rocosa) respectivamente.

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

## Aspectos Generales

- La fase posterior, es hallar la envolvente de rotura del macizo rocoso utilizando los conocidos índices de calidad como el RMR, Q, GSI o RMI, cuyas contribuciones han sido de vital importancia en el desarrollo de la ingeniería de rocas
- También, debe señalarse que excelentes resultados se han obtenido empleando este nuevo criterio de rotura al determinar la resistencia al corte del concreto en función de los parámetros  $K_1$  y  $K_2$

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION

Figura 1. Envolvente de rotura por cizallamiento en macizos rocosos.

Si la familia de líneas planas  $f(\sigma_\alpha, \tau_\alpha, \sigma_3) = 0$ , admite envolvente, las funciones  $\sigma_\alpha = \sigma_n = \psi(\sigma_3)$  y  $\tau_\alpha = \phi(\sigma_3)$  que definen las ecuaciones paramétricas de esta envolvente, satisfacen el sistema de ecuaciones:

$$\sigma_1 = \zeta(\sigma_3)$$

$$\boxed{f(\sigma_\alpha, \tau_\alpha, \sigma_3) = 0, \sigma_\alpha = \sigma_n}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_3} = 0$$



### NUEVO CRITERIO PROPUESTO

El criterio bidimensional propuesto en esta investigación que relaciona los esfuerzos principales y en el instante de la rotura está representado por la ecuación:

$$\sigma_1 = K_1(\sigma_3 - \sigma_t) + K(\sigma_3 - \sigma_t)^{1/2}$$

Siendo  $K$  y  $K_1$  contantes del material a determinar y  $\sigma_t$  la resistencia a la tracción.



Cabe destacar que los signos convencionales utilizados en las tensiones o esfuerzos son: **Compresión es positivo y tracción negativa.**

Expresando el nuevo criterio en forma adimensional en términos de  $\sigma_c$  resulta:

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_c}\right) = K_1 \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_t}{\sigma_c}\right) + \frac{K}{\sqrt{\sigma_c}} \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_t}{\sigma_c}\right)^{1/2}$$



Como previamente se ha mencionado,  $\xi = \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_c}\right)$

Si además, se tiene en cuenta que:

$$K_2 = \frac{K}{\sqrt{\sigma_c}}$$

Se obtiene finalmente:

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_c}\right) = K_1 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi\right) + K_2 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi\right)^{1/2}$$



Aplicando las ecuaciones de Balmer

$$\sigma_\alpha = \sigma_3 + \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\left(1 + \frac{\partial \sigma_1}{\partial \sigma_3}\right)}$$

Siendo además el esfuerzo cortante  $\tau_\alpha$ :

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\left(1 + \frac{\partial \sigma_1}{\partial \sigma_3}\right)} \sqrt{\frac{\partial \sigma_1}{\partial \sigma_3}}$$



La solución de la ecuación diferencial lineal es:

$$X = e^{-\int P(\beta) d\beta} \left[ K_4 - \int e^{\int P(\beta) d\beta} \cdot Q(\beta) d\beta \right]$$

Siendo  $K_4$  una constante de integración a determinarse posteriormente en función de las condiciones de borde.

$$X = e^{-\int \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin \beta}\right) d\beta} \left\{ K_4 - K_3 \int e^{\int \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin \beta}\right) d\beta} \left[ \frac{3 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}\right) + K_1}{\left[\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}\right) - K_1\right]^3} \right] \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}\right) d\beta \right\}$$



SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

$$(x - \xi) = (1 - \text{sen}\beta) \left\{ K_4 + \left( \frac{K_2}{2(1+K_1)} \right)^2 \left[ \frac{4K_1 + (3-K_1)[(1-K_1) + (1+K_1)\text{sen}\beta]}{[(1-K_1) + (1+K_1)\text{sen}\beta]^2} \right] \right\}$$

$y = (\tau_\alpha / \sigma_c)$ ,  $x = (\sigma_n / \sigma_c)$ ,  $X = (x - \xi) = (\sigma_n / \sigma_c - \xi)$ ,

$$y = \left( \frac{\tau_\alpha}{\sigma_c} \right) = X \cdot \tan \left( 45 + \frac{\beta}{2} \right) - \frac{K_3 \cdot \tan \left( 45 + \frac{\beta}{2} \right)}{\left[ \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \right) - K_1 \right]^2}$$

SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

*Como se podrá apreciar a continuación una de las ventajas del procedimiento analítico, es que permite obtener con un buen rango de aproximación las constantes requeridas que vinculan los esfuerzos principales a través un sistema de ecuaciones no lineales.*

SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

Esto se logra conociendo únicamente la relación entre la resistencia a tracción uniaxial y la resistencia a compresión simple o sin confinar de la roca o concreto ( $\xi = \sigma_t / \sigma_c$ ), incorporando además las respectivas condiciones de borde.

*Es decir, para determinar las referidas constantes  $K_1$  Y  $K_2$  no se requiere tener como datos de entrada los valores de las tensiones principales del ensayo triaxial ( $\sigma_3, \sigma_1$ ).*

SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

En la tabla anexa, se comparan los resultados obtenidos del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$  considerando la solución del sistema de ecuaciones no lineales, y el ajuste de curva aplicando la técnica de mínimos cuadrados.

SCOR SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION EN (MAGAZ) REDONDOS  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

A través del programa asistido por el ordenador EES. (Engineering Equation Solver) se han calculado las constantes  $K_1$  Y  $K_2$  considerando la nueva expresión que vincula los esfuerzos principales, junto con la constante de integración  $K_4$

SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

Comparación de los resultados de  $\sigma_1$  obtenidos a través de los ensayos de laboratorio y los valores de  $\sigma_1$  mediante el ajuste de la curva por mínimos cuadrados y empleando el sistema de ecuaciones no lineales.

Parámetros	Resultados de los ensayos de laboratorio		Curva Ajuste Ucar		Sistema de ecuaciones no lineales		Sistema de ecuaciones no lineales	
	Valores en kgf/cm <sup>2</sup>	Valores adimensionales	Ajuste Ucar	Ajuste Ucar	Ajuste Ucar	Ajuste Ucar	Ajuste Ucar	Ajuste Ucar
$f_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\sigma_3 / f_c$	$\sigma_1 / f_c$	$(\sigma_1 / f_c)_{\text{Ucar}}$	$(\sigma_1 / f_c)$	$\sigma_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
330.00	330.00	0.00	-0.10606061	0	0	0	0	
$G_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.000	330.00	0	1	1.000090787	1.000402802	330.0299598	330.1329246
-35.00	27.97	466.86	0.08472576	1.414727273	1.376015548	1.366145012	454.085131	450.826204
38.46	538.95	0.11654545	1.633181818	1.97798271	1.48302558	1.48302558	494.3295293	499.8548452
$\xi$	55.94	578.90	0.169515152	1.754242424	1.686551781	1.664876448	556.5620911	549.4092278
-0.10606061	69.99	636.62	0.212090909	1.929151515	1.827895956	1.798894919	603.1936666	593.9653234
Ajuste Curva	83.92	652.99	0.25430303	1.978757576	1.860838985	1.926462111	647.0768683	635.7328266
$K_1$	97.90	696.74	0.299666667	2.113333333	2.088383838	2.047432625	688.1699967	675.6546108
0.712	111.89	746.12	0.339050506	2.262969697	2.211033429	2.163359916	728.6410316	713.9120722
$K_2$	139.86	794.50	0.423818182	2.407575758	2.443860538	2.382481176	806.4739774	786.2187881
2.839	163.89	858.16	0.466212121	2.600484848	2.555125049	2.486757328	843.1912662	820.6299181
167.83	863.62	0.508579798	2.617030303	2.663361537	2.587937752	2.587937752	876.9699773	854.919458
Ecuaciones	174.83	870.99	0.520787878	2.630290291	2.716547562	2.637562989	898.4601115	870.3981163
No lineales	181.82	891.27	0.550969697	2.700818182	2.769025236	2.686473085	913.7783574	886.5367782
195.80	971.71	0.593333333	2.844519758	2.872217819	2.782481747	2.782481747	947.8318802	918.2207684
208.79	988.34	0.635727273	2.978606061	2.973301575	2.878331552	2.878331552	961.8995197	948.1984918
0.5	223.78	1008.47	0.678121212	3.055787879	3.072386679	2.968127963	1013.887304	979.4822276
237.76	1030.47	0.729484848	3.122636364	3.169564304	3.05797685	3.05797685	1045.95622	1009.13236
251.76	1088.86	0.762909091	3.299575758	3.265180882	3.146212297	3.146212297	1077.509694	1038.25058
2.909	265.73	1167.72	0.805242424	3.356727273	3.359019418	3.235467111	1108.476408	1066.772415
229.26	1153.75	0.847636364	3.441666111	3.451026188	3.317702537	3.317702537	1139.003916	1094.341537

2nd SBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Cusco, Peru

File: F:\Ecuaciones Ucar - Concreto EES 03/06/2011 08:33:21 a.m. Page 1  
 EES Ver: 8.779-#3079: For use only by Professor Roberto Ucar, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

$k1*(x)+K2*\sqrt{-xi}=1$

$sigman*(1+k1+(0.5*k2/\sqrt{-xi}))=1$

$(1-2*sigman)*\sqrt{K1+(0.5*k2/\sqrt{-xi})}=\sqrt{K1+(0.5*k2/\sqrt{-xi})}$

$sin(beta)=1-4*\sqrt{-xi}/(2*(1+k1)*\sqrt{-xi}+K2)$

$(sigman-xi)/(1-sin(beta)) * (k4 + (0.25*k2^2*(1+k1)^2*(4*k1+(3+k1)*((1-k1)+(1+k1)*sin(beta))))/((1-k1)+(1+k1)*sin(beta)))^2$

$(-xi)/(1-sin(beta1)) * (k4 + (0.25*k2^2*(1+k1)^2*(4*k1+(3+k1)*((1-k1)+(1+k1)*sin(beta1))))/((1-k1)+(1+k1)*sin(beta1)))^2$

$sigma3*(tan(45+0.5*beta1))^2+k1*(sigma3-xi)+k2*\sqrt{-xi}=0$

$xi=0.106$

2nd SBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Cusco, Peru

$k1 \cdot -\xi + K2 \cdot \sqrt{-\xi} = 1$

$sigman \cdot \left[ 1 + k1 + 0.5 \cdot \frac{K2}{\sqrt{-\xi}} \right] = 1$

$[1 - 2 \cdot sigman] \cdot \left[ \sqrt{K1 + 0.5 \cdot \frac{K2}{\sqrt{-\xi}}} \right] = \sqrt{sigman} \cdot [1 - sigman] \cdot \left[ k1 + 0.5 \cdot \frac{K2}{\sqrt{-\xi}} - 1 \right]$

$sin(\beta) = 1 - \left[ \frac{4 \cdot \sqrt{-\xi}}{2 \cdot (1 + k1) \cdot \sqrt{-\xi} + K2} \right]$

$sigman - \xi = [1 - sin(\beta)] \cdot \left[ k4 + 0.25 \cdot \frac{K2^2}{(1 + k1)^2} \cdot \left( \frac{4 \cdot k1 + [3 - k1] \cdot [1 - k1 + (1 + k1) \cdot sin(\beta)]}{[1 - k1 + (1 + k1) \cdot sin(\beta)]^2} \right) \right]$

$-\xi = [1 - sin(\betaeta1)] \cdot \left[ k4 + 0.25 \cdot \frac{K2^2}{(1 + k1)^2} \cdot \left( \frac{4 \cdot k1 + [3 - k1] \cdot [1 - k1 + (1 + k1) \cdot sin(\betaeta1)]}{[1 - k1 + (1 + k1) \cdot sin(\betaeta1)]^2} \right) \right]$

$sigma3 \cdot tan^2[45 + 0.5 \cdot beta1] + k1 \cdot [sigma3 - \xi] + K2 \cdot [\sqrt{sigma3 - \xi}] = 0$

$\xi = -0.106$

2nd SBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Cusco, Peru

Valores obtenidos a través del programa EES

$K_1 = 0,50, K_2 = 2,909, K_4 = -1,592$

$sigman = \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)_{\sigma_3=0} = 0,1676, (\beta)_{\sigma_3=0} = 41,67^\circ$

$sigma3 = \left( \frac{\sigma_3}{f_c} \right)_{\sigma_n=0} = -0,06993, (\beta_1)_{\sigma_n=0} = 51,41^\circ$

$\left( \frac{\sigma_1}{f_c} \right) = 0,5 \left( \frac{\sigma_3}{f_c} - \xi \right) + 2,909 \left( \frac{\sigma_3}{f_c} - \xi \right)^{1/2}, \xi = -0,106, f_c = 330,00kgf / cm^2$

2nd SBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Cusco, Peru

**CÁLCULO DE LAS CONSTANTES  $K_1$  Y  $K_2$  Y  $K_4$  (CONSTANTE DE INTEGRACIÓN)**

Los valores de  $K_1$  y  $K_2$  se obtienen con buena aproximación conociendo el parámetro  $\xi = \sigma_c / \sigma_1$  conjuntamente con las ecuaciones obtenidas aplicando las siguientes condiciones de borde:

1) Para el caso particular del ensayo de compresión simple,  $\sigma_3 = 0$ , y  $\sigma_1 = \sigma_c$ . Debiéndose cumplir:

$1 = K_1(-\xi) + K_2(-\xi)^{1/2}$

$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right) = K_1 \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi \right) + K_2 \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi \right)^{1/2}$

2nd SBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Cusco, Peru

$\left[ \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)_{\sigma_3=0} \right] \left[ 1 + K_1 + \frac{K_2}{2\sqrt{-\xi}} \right] = 1$

$\frac{[1 - 2 \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)_{\sigma_3=0}]}{\sqrt{\left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)_{\sigma_3=0} [1 - \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)_{\sigma_3=0}]}} = \frac{\left[ K_1 + \frac{K_2}{2\sqrt{-\xi}} \right] - 1}{\sqrt{K_1 + \frac{K_2}{2\sqrt{-\xi}}}}$

2nd SBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
 August 7-9, 2012, Cusco, Peru

$(sen\beta)_{\sigma_3=0} = \left[ 1 - \left( \frac{2}{1 + tan^2 \alpha} \right) \right] = \left[ 1 - \frac{2}{1 + \left( K_1 + \frac{K_2}{2\sqrt{-\xi}} \right)} \right]$

$\left[ \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)_{\sigma_3=0} - \xi \right] = [1 - (sen\beta)_{\sigma_3=0}]$

$\times \left[ K_1 + \frac{K_2}{2(1+K_1)} \right]^2 \frac{4K_1 + (3 - K_1)[(1 - K_1) + (1 + K_1)(sen\beta)_{\sigma_3=0}]}{[(1 - K_1) + (1 + K_1)(sen\beta)_{\sigma_3=0}]^2}$

En estas condiciones es posible calcular la constante de integración  $K_4$

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
Aguilera 7 y 9, 2012, Coahuila, México

### OTRA ALTERNATIVA PARA DETERMINAR LAS LAS CONSTANTES $K_1$ Y $K_2$ Y $K_4$ (CONSTANTE DE INTEGRACIÓN)

Uno de los aspectos importantes realizados en la fase final de esta investigación, ha sido determinar qué tipo de sección cónica representa la ecuación entre los esfuerzos principales propuesta.

Al aplicar los procedimientos algebraicos que permiten estudiar estas curvas cuadráticas, se ha determinado tal como se intuía que la referida ecuación representa a una parábola definida por la ecuación:

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
Aguilera 7 y 9, 2012, Coahuila, México

$$\left[ \frac{K_1 \cdot \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} \right) - \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right) + \lambda}{\sqrt{1+K_1^2}} \right]^2 = \frac{K_2^2}{(1+K_1^2)^{3/2}} \left[ \frac{\left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} \right) + \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right) \cdot K_1 - b}{\sqrt{1+K_1^2}} \right] = 0$$

Siendo el nuevo sistema de coordenadas ,

$$Y = \left[ \frac{K_1 \cdot \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} \right) - \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right) + \lambda}{\sqrt{1+K_1^2}} \right] , X = \left[ \frac{\left[ \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} \right) + \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right) \cdot K_1 \right] - b}{\sqrt{1+K_1^2}} \right]$$

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
Aguilera 7 y 9, 2012, Coahuila, México

Siendo:

$$\lambda = -\frac{1}{2} \left[ \frac{K_1 (2 \cdot \xi \cdot K_1^2 + K_2^2 + 2 \cdot \xi)}{(1+K_1^2)} \right]$$

$$b = \left( \frac{\xi^2 \cdot K_1^2 + \xi \cdot K_2^2 - \lambda^2}{K_2^2} \right) (1+K_1^2)$$

En estas condiciones, la forma ordinaria o canónica de la parábola está representada por la ecuación:

$$Y^2 = \left[ \frac{K_2^2}{(1+K_1^2)^{3/2}} \right] X$$

2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
Aguilera 7 y 9, 2012, Coahuila, México

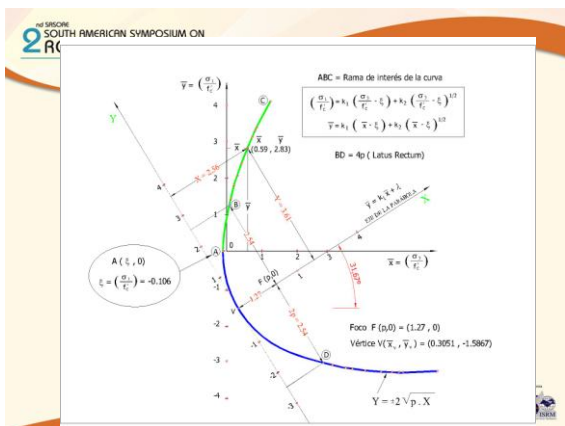
Si p, es la abscisa del foco (F), se aprecia que:

$$\left[ \frac{K_2^2}{(1+K_1^2)^{3/2}} \right] = 4p$$

Por lo tanto, el foco tiene coordenadas F (p, 0) y la ecuación canónica de la parábola en el nuevo sistema de coordenadas es:

$$Y^2 = 4pX$$

La gráfica adjunta representa la relación entre los esfuerzos principales aplicando los resultados de los ensayos de Torres [8].



2nd SIBSORE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
Aguilera 7 y 9, 2012, Coahuila, México

A través de los nuevos ejes transformados los parámetros utilizados son en la forma canónica :

$K_1 = 0,6169$ ,  $K_2 = 2,87$ ,  $\xi = \sigma_3/f'_c = -0,1061$ ,  $\lambda = -1,774$ ,  $b = 0,6735$ .

Cuando  $\sigma_3 = \sigma_1$  ,  $\left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} = \xi = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right)$  ,  $\sigma_1 = 0$

$$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \right) = K_1 \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi \right) + K_2 \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi \right)^{1/2} = 0 , \quad \frac{\sigma_3}{\sigma_c} = \xi$$

**2nd SIBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION**  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

**Cabe destacar, que la referida condición de borde al ser aplicada los términos se anulan unos con otros.**

Esto no ocurre aplicando el nuevo sistema de coordenadas, obteniéndose la siguiente ecuación.

$$(K_1 \cdot \xi + \lambda)^2 = \frac{K_2^2}{(1 + K_1^2)} (\xi - b) = 0$$

La otra bien conocida condición de borde es

$$\sigma_1 = \sigma_c, \sigma_3 = 0 \Rightarrow \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} = 1 \right)$$

**2nd SIBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION**  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

Transformándose :

$$(\lambda - 1)^2 = \frac{K_2^2}{(1 + K_1^2)} (K_1 - b) = 0$$

Dicha ecuación es equivalente a la expresión:

$$K_1 (-\xi) + K_2 (-\xi)^{1/2} = 1$$

**Sin embargo, debe indicarse que existen infinitas soluciones de  $K_1$  y  $K_2$  que definen la ecuación de la parábola.**

**2nd SIBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION**  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

**COMPARACIÓN DE RESULTADOS APLICANDO DIFERENTES CRITERIOS DE ROTURA A TRAVÉS DE LOS ESTUDIOS EXPERIMENTALES REALIZADOS POR TORRES**

Se han utilizado los valores de resistencia obtenidos por Torres [8] en 350 probetas de concreto, 55 de ellas correspondientes a las pruebas triaxiales ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ), en muestras cilíndricas de 5,00 cm de diámetro y 10,00 cm de altura.

**2nd SIBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION**  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

Comparación de los resultados entre los diferentes criterios de rotura y los valores de los ensayos de laboratorio

f <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resultados de los ensayos de laboratorio					VALORES DEL ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_1$ en kgf/cm <sup>2</sup>					
	Valores en kgf/cm <sup>2</sup>		Valores dimensionales			Curva Ajuste Ucar		Curva Ajuste H&B		Curva Ajuste MB	Curva Ajuste Lineal
	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3 / f_c$	$\sigma_1 / f_c$	$\sigma_1 / \sigma_3$	( $\sigma_1$ ) <sub>Ucar</sub>	( $\sigma_1$ ) <sub>H&amp;B</sub>	( $\sigma_1$ ) <sub>MB</sub>	( $\sigma_1$ ) <sub>Lineal</sub>		
330.00	-35.00	0.00	-0.10606061	0	0	131.2006318	*	*	220.1		
	0.000	330.00	0	1.414727273	1.414727273	1.414727273	1.414727273	1.414727273	1.414727273		
	38.46	638.95	0.11654545	1.633181818	484.3295293	483.6702936	505.7505655	450.76544	450.76544		
	55.94	578.90	0.16861515	1.754242424	556.5620911	544.6161989	562.7724581	505.65516	505.65516		
	69.99	636.62	0.21200941	1.929151515	603.1936866	590.9808616	605.3700741	549.7688	549.7688		
	83.92	652.99	0.26430033	1.978767676	647.0769683	635.0622639	645.928968	593.0088	593.0088		
	97.90	696.74	0.29666667	2.111333333	689.1699667	677.7658112	694.1822277	637.406	637.406		
	111.89	746.12	0.33906061	2.260969697	729.6410316	719.1231322	721.5012939	681.3346	681.3346		
	139.86	794.50	0.42381818	2.407575758	806.4739774	796.4071058	792.8176249	769.1604	769.1604		
	163.85	858.16	0.46621212	2.604848484	843.1912662	836.6770024	827.1216725	813.989	813.989		
	187.83	963.25	0.50957576	2.810909091	878.9030723	872.9719859	866.0337421	856.965	856.965		
	174.81	870.90	0.52978788	2.630000000	898.4601133	892.3897357	877.1440925	878.9652	878.9652		
	131.82	889.27	0.5008091	2.700818182	813.2786274	810.6026989	803.4702430	800.9148	800.9148		
	136.60	891.71	0.59333333	2.944575769	847.8318802	846.5254611	825.661312	844.812	844.812		
	209.79	982.94	0.63572727	2.978606061	981.1895197	981.8498655	957.3043957	988.7406	988.7406		
	253.78	1008.41	0.67812121	3.055787879	1019.887804	1016.600379	988.424069	1032.6592	1032.6592		
	237.76	1038.47	0.72548486	3.122436364	1046.95632	1050.796684	1018.039058	1076.6664	1076.6664		
	281.75	1088.88	0.76287879	3.209575769	1077.487347	1084.526201	1049.228446	1120.455	1120.455		
	265.73	1160.78	0.80524243	3.366727273	1108.878088	1112.275106	1079.899463	1164.992	1164.992		
	279.72	1138.73	0.84763636	3.441606061	1139.003616	1150.621017	1108.363363	1208.3008	1208.3008		

\* Este criterio no acepta tensiones normales en la rama negativa (esfuerzos de tracción). Por lo tanto es un limitante

**2nd SIBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION**  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

**Determinación del error estándar**

A través de los diferentes criterios de rotura investigados se ha determinado el error estándar del valor estimado

Criterio de Rotura	Desviación Estándar $\sigma_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
Ucar	19,04
Hoek y Brown	38,60
Murrell-Bieniawski	23,65
Lineal	72,04

**2nd SIBRICE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION**  
 August 7-9, 2012, Costa Rica

**DETERMINACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE ROTURA EN EL CONCRETO APLICANDO LOS ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE AIRE (2002).**

Tesis doctoral sobre el comportamiento del concreto cuando está sometido a compresión triaxial.

Dicho investigador ensayó probetas cilíndricas de concreto de 150x300mm a diferentes niveles de confinamiento pero considerando la condición en la cual  $\sigma_3 = \sigma_2$ , es decir el esfuerzo principal menor e intermedio son iguales.

INSTRUMENTACIÓN METEOROLÓGICA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE  
**ROCK EXCAVATION EN MAZOS RODADOS**

August 7-9, 2012, Costa Rica

**La tabla anexa , muestra los valores ( $\sigma_3, \sigma_1$ ), para el caso particular de las pruebas de concreto con una resistencia  $f'_c = 35,00$  MPa.**

Valores de resistencia del Concreto a diferentes estados de confinamiento $f'_c = 35$ MPa	$\sigma_3$ (MPa)	$\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 / f'_c$	$\sigma_1$ (MPa)	$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 / f'_c$
	0	0	$f'_c = 35$	1
	7	0,20	71	2,03
	17	0,49	103	2,94
	28	0,80	132	3,77
	35	1	151	4,31

2nd SIRCONE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON **ROCK EXCAVATION**

August 7-9, 2012, Costa Rica

$$1 = K_1 (-\xi) + K_2 (-\xi)^{1/2}$$

$$2,94 = K_1 (0,49 - \xi) + K_2 (0,49 - \xi)^{1/2}$$

$$4,31 = K_1 (1 - \xi) + K_2 (1 - \xi)^{1/2}$$

**Aplicando el programa EES , resulta :**

$K_1 = 0,67, K_2 = 3,40$  y  $\xi = \sigma_1 / f'_c = -0,0778$

**Por lo tanto  $\sigma_1 = -2,72$  MPa (valor teórico estimado).**

2nd SIRCONE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON **ROCK EXCAVATION**

August 7-9, 2012, Costa Rica

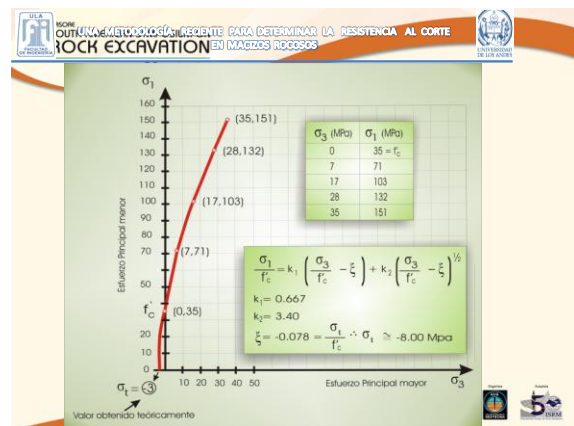
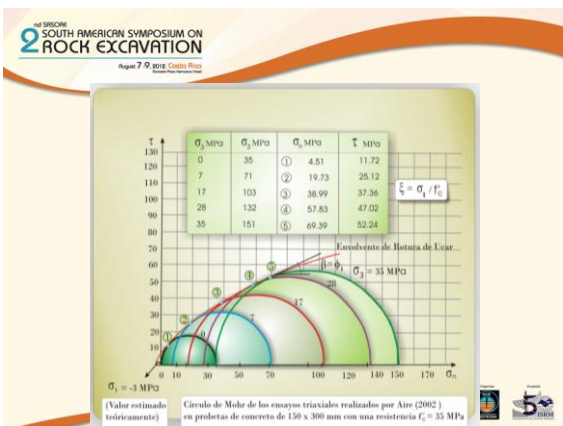
$$\frac{\partial \bar{\sigma}_1}{\partial \bar{\sigma}_3} = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \right) = K_1 + \frac{K_2}{2\sqrt{\sigma_3 - \xi}} = \tan^2 \alpha$$

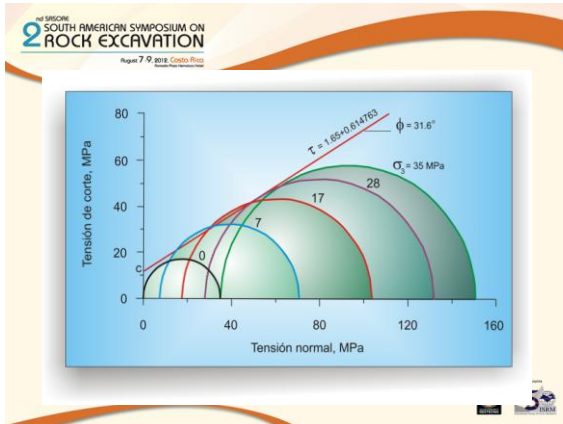
$\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 / f'_c$	$\partial \bar{\sigma}_1 / \partial \bar{\sigma}_3$	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$
0	6,765	68,97	47,94
0,20	3,895	63,13	36,26
0,49	2,926	59,69	29,38
0,80	2,484	57,61	25,21
1	2,3075	56,64	23,29

2nd SIRCONE SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON **ROCK EXCAVATION**

August 7-9, 2012, Costa Rica

Valores experimentales según Aire [11] en probetas de concreto sometidas a compresión triaxial				Valores utilizando el Criterio de Ucar	
$\sigma_3$ (MPa)	$\bar{\sigma}_3$	$\sigma_1$ (MPa)	$\bar{\sigma}_1$	$\bar{\sigma}_1$	$\sigma_1$ (MPa)
0	0	$f'_c = 35$	1	1	$f'_c = 35$
7	0,20	71	2,03	1,98	69,30
17	0,49	103	2,94	2,94	103
28	0,80	132	3,77	3,77	132
35	1	151	4,31	4,25	148,80





2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Coconito, Pinar del Rio

### FUTURAS INVESTIGACIONES CONCERNIENTES CON LA RESISTENCIA AL CORTE EN MACIZOS ROCOSOS

EL objetivo trazado en esta fase de investigación de este apasionante tema concierne con la resistencia de macizos rocosos es desarrollar un criterio práctico y efectivo de rotura que considere el estado de fractura y meteorización de la roca utilizando las bien conocidas clasificaciones geomecánicas

**Aplicando**  
Rock Masas Rating de Bieniawski, el Sistema Q de Barton, el Índice de Resistencia Geológica (Geological Strength Index-GSI de Hoek y Brown) y el RMI, entre otros

2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Coconito, Pinar del Rio

En definitiva, el conocimiento combinado de las propiedades mecánicas e hidráulicas, y la incorporación de las clasificaciones geomecánicas permitirá entender mejor este complejo tema relacionado con la resistencia de los macizos rocosos.

En estas condiciones se propone una ecuación de la forma:

$$\sigma_1 = K_1 (\sigma_3 - \sigma_{tm}) + K_2 \sqrt{(\sigma_3 - \sigma_{tm})}$$

Donde  $\sigma_{tm}$  representa la resistencia a tracción de la masa rocosa, y es una fracción de la resistencia a la tracción de la roca intacta (matriz rocosa)  $\sigma_t$ .

2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Coconito, Pinar del Rio

En general, es práctica común determinar la resistencia de la masa rocosa a compresión  $\sigma_{cm}$  y a tracción  $\sigma_{tm}$  como una fracción de su valor intacto utilizando las siguientes expresiones:

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_c} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{a}\right)$$

$\sigma_c$  = resistencia a compresión simple o sin confinar de la roca intacta.

$$\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_t} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{b}\right)$$

2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Coconito, Pinar del Rio

RMR = índice de calidad de Bieniawski.  
 $a$ ,  $b$  = parámetros que varían de acuerdo al investigador  
 Por ejemplo Sheorey (1997), en su criterio de rotura utiliza los siguientes valores:  
 $a = 20$  y  $b = 27$  (Siendo el índice  $RMR_{76}$ .  
 Para  $RMR_{76} > 18$ ,  $GSI = RMR_{76}$ ).

2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Coconito, Pinar del Rio

La ecuación a utilizar es,,


$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cm}} = K_1 \left( \frac{\sigma_3 - \sigma_{tm}}{\sigma_{cm}} \right) + K_2 \sqrt{\left( \frac{\sigma_3 - \sigma_{tm}}{\sigma_{cm}} \right)}$$

Siendo la relación  $\xi_{\sigma} = \left( \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{cm}} \right)$

$$\left( \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{cm}} \right) = \left( \frac{\sigma_t}{\sigma_c} \right) \exp \left[ \left( \frac{RMR - 100}{b} \right) - \left( \frac{RMR - 100}{a} \right) \right]$$

2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

En base los estudios realizados por Hoek y Bray (1989, 1997), junto con Kalamaras y Bieniawski (1995), Ramamurthy (1986), Singh y Goel (2006), Mehrotra (1992), Zhang (2010) y Brady citado por Aubertin et al (2000) entre otros, es posible establecer las siguientes ecuaciones aproximadas las experiencias de los investigadores previamente mencionados en función de  $\sigma_c$  y RMR.


$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_c} \approx \exp\left(\frac{RMR-100}{24}\right), \quad \text{RMR} = \text{Versión 1989}$$


2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

$$\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_c} \approx \xi \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right), \quad \xi = \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_c}\right)$$

$$\xi_m = \left(\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_c}\right) \approx \xi \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right)$$

Por otra parte, se observa que la ecuación anterior puede expresarse en la forma siguiente:

$$\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_t} \approx \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right)$$



2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

Finalmente se propone,

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_c}\right) = K_1 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi_m\right) + K_2 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_c} - \xi_m\right)^{1/2}$$

En estas condiciones es posible, hallar las respectivas constantes  $K_1$  y  $K_2$ , y preparar una tabla de valores para diferentes tipos de roca teniendo en cuenta como parámetro esencial  $\xi_m = \xi \cdot \exp[(RMR-100)/14]$


$\xi = (\sigma_t / \sigma_c)$



2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

Un simple ejemplo de aplicación en macizos rocosos aplicando los parámetros recomendados por Sheorey

Con el objeto de poder apreciar la importancia de del criterio propuesto a continuación se lleva cabo un ejemplo práctico a través del cual se determina la relación entre los esfuerzos principales considerando el índice de calidad RMR de Bieniawski (1989) utilizando las constantes  $a=20$  y  $b=27$  sugeridas por Sheorey (1997). A la vez los resultados se comparan con el criterio de rotura generalizado de Hoek y Brown.




2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

Los datos de entrada de la masa rocosa investigada son los siguientes

$\sigma_c = 40,00 \text{ MPa}$  ,  $\sigma_t = 40,00/12 = 3,33 \text{ MPa}$      $\xi = \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_c}\right) = \frac{1}{12}$

RMR  $\approx$  GSI (Índice de Resistencia Geológica de Hoek y Brown) = 60.  
Siendo,


$$\xi_m = \left(\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{cm}}\right) = \left(\frac{1}{12}\right) \exp\left[\left(\frac{60-100}{27}\right) - \left(\frac{60-100}{20}\right)\right] = 0,14$$


2nd SIBSON SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

Utilizando el programa EES (Engineering Equation Solver), se ha resuelto el sistema de cinco ecuaciones simultáneas no lineales.

Los cinco valores obtenidos son:

$K_1 = 4,16$   
 $K_2 = 1,12$   
 $K_4 = 0,02793$   
(constante de integración, la cual se encuentra en la ecuación de  $\sigma_1$ )



Con los valores de  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_4$  y  $\xi_\psi$  es posible determinar la tensión normal y la resistencia la corte .

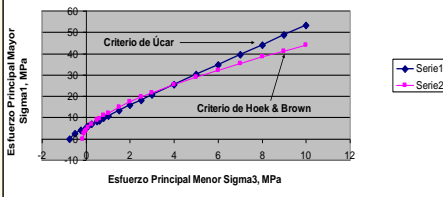
$$\left( \frac{\sigma_n - \xi_v}{\sigma_{cm}} \right) = (1 - \text{sen}\beta) \left\{ K_4 + \left( \frac{K_2}{2(1+K_1)} \right)^2 \left[ \frac{4K_1 + (3-K_1)[(1-K_1) + (1+K_1)\text{sen}\beta]}{[(1-K_1) + (1+K_1)\text{sen}\beta]^2} \right] \right\}$$

$$\frac{\tau_{ca}}{\sigma_{cm}} = \left( \frac{\sigma_n}{\sigma_{cm}} - \xi_v \right) \cdot \tan \left( 45 + \frac{\beta}{2} \right) - \frac{K_3 \cdot \tan \left( 45 + \frac{\beta}{2} \right)}{\left[ \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \right) - K_1 \right]^2}$$

Comparación de resultados entre el nuevo criterio de rotura propuesto por Ucar y el de Hoek y Brown

σ <sub>cm</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Curva Ajuste Ucar			Curva Ajuste Ucar			Curva Ajuste H&B		
		σ <sub>3</sub> (MPa)	σ <sub>2</sub> /σ <sub>cm</sub>	(σ <sub>1</sub> /σ <sub>cm</sub> ) <sub>Ucar</sub>	σ <sub>3</sub> (MPa)	(σ <sub>1</sub> ) <sub>Ucar</sub>	σ <sub>3</sub> (MPa)	(σ <sub>1</sub> ) <sub>H&amp;B</sub>		
5,41	40	-0,757669	-0,13396	0	-0,75767	0	-0,1624	0,009198379		
		-0,5	-0,09236	0,442359484	-0,5	2,39467384	-0,1	2,404105126		
σ <sub>tm</sub> (MPa)	σ <sub>t</sub> (MPa)	-0,25	-0,04618	0,733107427	-0,25	3,96861205	-0,05	3,33259724		
-0,76	-3,33333333	0	0	1,001247654	0	5,42016539	0	4,083563736		
		0,1	0,018473	1,104888245	0,1	5,98121454	0,1	5,321159803		
ξ	RMR	0,25	0,046182	1,257571327	0,25	6,90775087	0,25	6,832584376		
-0,08333333	60	0,5	0,092363	1,506311395	0,5	8,15428317	0,5	8,892788165		
K <sub>1</sub>		0,6	0,110836	1,604209077	0,6	8,68424359	0,6	9,62021691		
4,16		0,8	0,147781	1,797795574	0,8	9,73220693	0,8	10,9647991		
	ξ <sub>ψ</sub>	1	0,184726	1,988893093	1	10,7666964	1	12,19829262		
1,12	-0,139961467	1,5	0,27709	2,458222757	1,5	13,3073709	1,5	14,95373877		
<b>Parámetros Hoek &amp; Brown</b>		<b>2</b>	<b>0,369453</b>	<b>2,91854392</b>	<b>2</b>	<b>15,7992787</b>	<b>2</b>	<b>17,39634674</b>		
m	m <sub>b</sub>	2,5	0,461816	3,372226543	2,5	18,2552499	2,5	19,62988299		
12	2,876	3	0,554179	3,820754382	3	20,6833151	3	21,71084915		
0,117	a	4	0,738906	4,706063639	4	25,4758582	4	25,54282914		
0,0117	0,513	5	0,923632	5,579612361	5	30,2047368	5	29,0585184		
		6	1,108358	6,444366956	6	34,8960091	6	32,34604256		
		7	1,293085	7,302223548	7	39,5299397	7	35,45863383		
		8	1,477811	8,154481342	8	44,1435617	8	38,43220211		
		9	1,662538	9,002076648	9	48,7319437	9	41,29093224		
-0,1624	0,006196379	10	1,847264	9,845710684	10	53,2988818	10	44,05321759		

COMPARACIÓN DE CRITERIOS DE ROTURA EN MACIZOS ROCOSOS



Obsérvese en este caso en particular que para valores de  $0 \leq \sigma_3 \leq 5$  MPa, ambos criterios tienen resultados muy semejantes. La diferencia se aprecia en la zona de tracción y para valores del esfuerzo principal menor  $\sigma_3 > 5$  MPa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Utilizando la nueva propuesta que relaciona los esfuerzos principales en el instante de la rotura, se ha desarrollado un método analítico, en el cual se determina la envolvente de rotura por corte tanto en roca intacta como en macizos rocosos. Todo esto con la ayuda del programa EES, u otro similar que existen en el campo de los métodos numéricos.


En estas condiciones se deberá determinar previamente las contantes  $K_1$  y  $K_2$  y  $K_4$  (contante de integración) evaluando la calidad del macizo rocoso, en función del grado de fractura, estructura geológica, tamaño de los bloques y meteorización de la roca. Tarea por supuesto nada fácil, la cual requiere de la ayuda de todos nosotros en esta fase de investigación.

Se recomienda llevar a cabo en una próxima fase de investigación la elaboración de una tabla con diferentes valores de  $\xi = (\sigma_t / \sigma_c)$  y de  $\xi_m = (\sigma_{tm} / \sigma_c)$  Luego se deberá determinar las respectivas constantes y comparar la ecuación obtenida  $\sigma_1 = f(\sigma_3, \xi_m, K_1, K_2)$  con otros criterios de rotura.

2<sup>nd</sup> SIBSORE  
SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON  
ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

**Los criterios a comparar inicialmente son:**


- Hoek y Brown generalizado
- Barton, 1973, 1976, 1977
- Sheorey (1997)
- Ramamurty (1986)
- Murell (1965), empleando la solución obtenida por Ucar (1988)
- Yu (2003)



2<sup>nd</sup> SIBSORE  
SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON  
ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

Igualmente se recomienda extender el nuevo criterio de rotura propuesto a través una metodología real y efectiva de rotura en tres dimensiones.


Cabe señalar que muchos investigadores han estudiado en detalle este importante tema de la mecánica de las rocas, en especial Mogi (1971) quien ha demostrado en sus estudios experimentales a partir de 1964 que existen evidencias notables que demuestran la influencia del esfuerzo principal intermedio  $\sigma_2$  en la resistencia de la roca .



2<sup>nd</sup> SIBSORE  
SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON  
ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

**¡Gracias por su atención!**

**También por su presencia y por la valiosa ayuda que puedan aportar en un futuro, con la finalidad de mejorar este modesto trabajo**



2<sup>nd</sup> SIBSORE  
SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON  
ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

**Información de contacto**

- E-mail [robertoucar@gmail.com](mailto:robertoucar@gmail.com)
- Web site
- Teléfono **00 58 4147456333**



2<sup>nd</sup> SIBSORE  
SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON  
ROCK EXCAVATION  
August 7-9, 2012, Costa Rica

**Preguntas y respuestas**

