

# La Teoría de Mohr y la Estabilidad del Macizo Geológico

## Mohr's Theory and the Stability of Geological Massif

Rafael Martínez Silva

### RESUMEN

Este trabajo se insertó en el Proyecto "Evaluación y Conservación del Macizo Geológico con Fines Constructivos" que se ejecuta en la Universidad de Pinar del Río, el cual tiene como idea central el "Desarrollo Sostenible en las Regiones Mineras". Tuvo como Objetivo desarrollar una Metodología para el diseño del Talud para las Minas a Cielo Abierto y las Galerías en la Minería Subterránea. Las "fallas" que estas puedan tener influyen en los resultados finales que atentan contra la eficiencia de las empresas y su sostenibilidad. Como Método de Investigación se utilizó la Modelación, "de la interacción del Estado Tensional Natural con el Estado Límite del Macizo Geológico".

**Palabras clave:** Modelación, Estado Tensional, Galería, Talud, Túnel

### ABSTRACT

This work was inserted in the Project "Evaluation and Conservation of the Geological Massif with Construction Purposes", which it is executed in the University of Pinar del Rio and has as a central idea the "Sustainable Development in the Mining Regions". It aimed the development of a Methodology for the design of the Slope in Open-Pit Mines and the Galleries in Underground Mining. The "flaws" that these may have, affect the final results that threaten against efficiency and sustainability of enterprises. The modeling was the research method used, "the interaction of Natural Tensional State with the Limit State of the Geological Massif".

**Key words:** Modeling, Tensional State, Gallery, Slope, Tunnel

### Introducción

Este trabajo se insertó en el Proyecto "Evaluación y Conservación del Macizo Geológico con Fines Constructivos" que se ejecuta en la Universidad de Pinar del Río, el cual tiene como idea central el "Desarrollo Sostenible en las Regiones Mineras".

La Investigación Documental realizada sobre "La Estabilidad del Macizo Geológico" tuvo como resultado el siguiente:

*"Generalmente se concluye que en Obras Subterráneas y Taludes, las Hipótesis y Procedimientos utilizados carecen de un criterio unificado para el Análisis de Estabilidad del Macizo Geológico".*

Las reflexiones realizadas con anterioridad identifican el siguiente problema: "Es necesario un Procedimiento General, para pronosticar la Estabilidad de Obras Subterráneas y Taludes" del cual emana la hipótesis siguiente: "el elemento común

desestabilizador sobre el Macizo Geológico” lo constituye la acción del Estado Tensional Natural”.

La Novedad Científica demostró y definió que: *“la idea de unificar la Inestabilidad del Macizo Geológico con la acción del Estado Tensional Natural utilizando la Teoría de Mohr asume un criterio práctico en el Diseño de las Obras Principales Mineras”*.

El Aporte Práctico está dado al *“desarrollar una metodología que basada en los ensayos simples de laboratorio y las características del Macizo Geológico permite confeccionar el diseño de las Obras Principales Mineras en cualquier tipo de Macizo Geológico”*.

## **1 Materiales y Métodos**

### **1.1 Materiales**

Los Materiales utilizados están relacionados directamente con trabajos ejecutados en diferentes etapas. La etapa inicial comenzó a inicios de la década del 70 del pasado siglo y continuó desde 1987-2004 como segunda etapa. Recientemente (2014) se obtuvo información de trabajos ejecutados que permitió validar los resultados y la aplicación de los mismos en diferentes regiones del país.(1, 2)4

### **1.2 Métodos**

Generalmente se comienza por la *“Evaluación Mecánica del Macizo Geológico”* para lo cual existen diferentes Procedimientos y algunos de ellos se aplicaron en las Minas de Matahambre y Júcaro en la Provincia de Pinar del Río (Cuba). (3, 4)

El Paso siguiente se relaciona con el tipo de Obra que se construye, dando como resultado una extensa gama de Metodologías y Procedimientos que analizan la Estabilidad para casos particulares.(5) (6)

Basado en sus Observaciones Visuales los investigadores establecieron figuras geométricas simples para predecir la forma de pérdida de Estabilidad del Macizo Geológico para Taludes y Obras Subterráneas en condiciones y tipos diferentes de Macizo Geológico. Figuras 1 y 2.

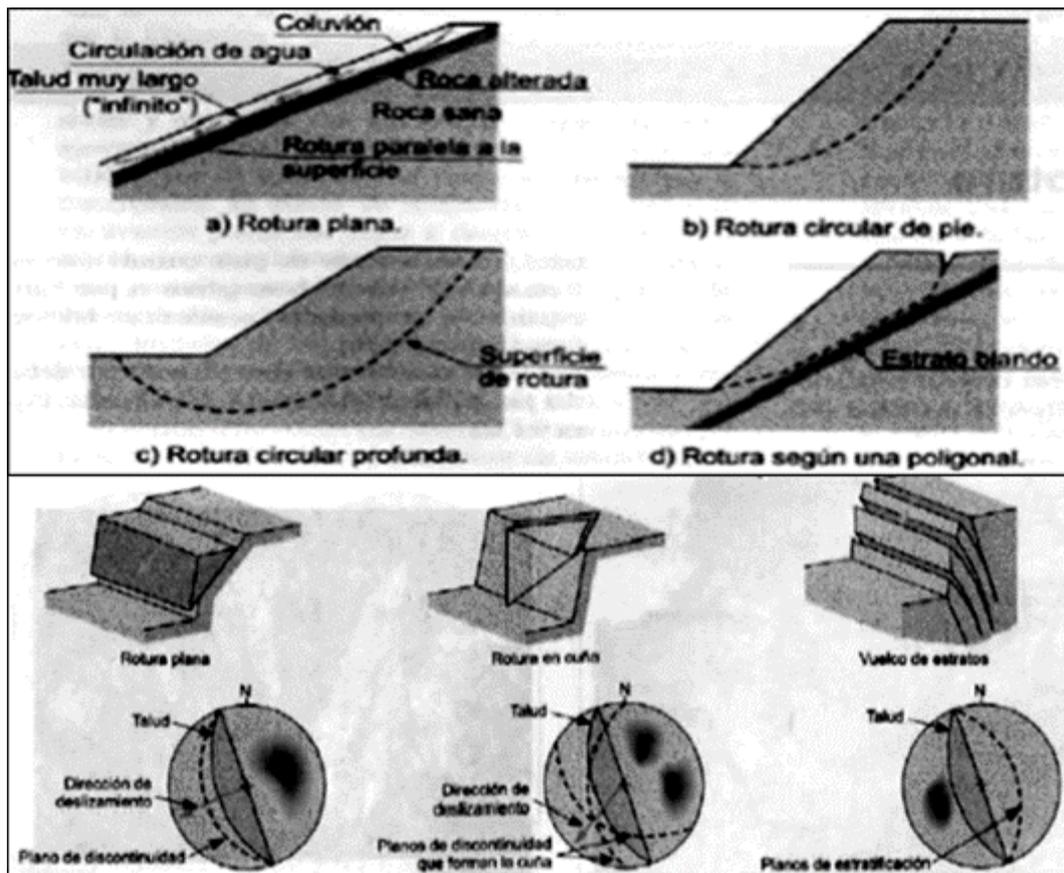


Figura 1 Pérdida de Estabilidad del Talud en Suelos y Rocas.

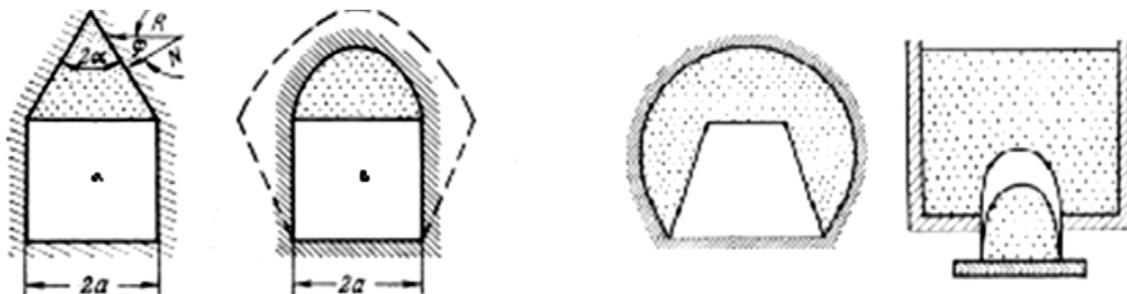


Figura 2 Pérdida de Estabilidad de las Obras Subterráneas.

Es evidente que "la forma de perder la estabilidad el Macizo Geológico" está relacionada con la "interacción del estado tensional natural y el Macizo Geológico". El Objetivo se define de la siguiente forma: "desarrollar un Procedimiento en el cual se introduce como elemento común desestabilizador la acción del Estado Tensional Natural sobre el Macizo Geológico" Como Método de Investigación se utiliza la Modelación.

## 2 Resultados y Discusión

El Procedimiento se dirige a Taludes y Obras Subterráneas:

### 2.1 Modelación de la Interacción del Estado Tensional Natural con el Macizo Geológico

La modelación consiste en sustituir el objeto de investigación por un modelo, el cual representa un reflejo mediatizador de la realidad y se sustenta en la lógica de la Ciencia. (7)

Como “reflejo mediatizador” se utilizó el criterio de igualar la Tensión Total del Estado Límite del Macizo Geológico al valor “pronosticado” por la expresión que cuantifica el Estado Tensional.

### 2.1.1 Taludes

La Ecuación dominante para Taludes y que “modela” el proceso de Interacción es la siguiente:

$$\sigma_{total} = \sigma_{vertical} = (\sigma_{límite}^2 + \tau_{límite}^2)^{1/2} = \gamma H \quad (5) \text{ en la cual } \gamma \rightarrow \text{Peso Específico} \rightarrow \text{kN/m}^3 \text{ y } H \rightarrow \text{la altura necesaria para satisfacer la ecuación}$$

Es necesario recordar que las Componentes del Estado Límite ( $\sigma_L$  y  $\tau_L$ ) dependen de las condiciones del ensayo ( $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ ) esto nos permite modificar ( $\sigma_1$ ) durante el ensayo.

Para tomar en consideración la Componente Horizontal  $\sigma_{Horizontal}$  se utiliza el Coeficiente de Mayoración de la Tensión Total Límite el cual depende de los valores de ( $K$ —relación entre las tensiones horizontales y verticales)  $\eta_{estado\ tensional} = (1+K^2)^{1/2}$

La Tabla 1 demuestra la validez del Procedimiento por la aproximación de la modelación propuesta con anterioridad.

Tabla 1 Resultados comparativos de los Parámetros reales de los Taludes y los calculados para la Presa de Colas Comandante Pedro Sotto Alba (Perfiles del 1-7)

Datos reales de la Presa de Colas							Cálculo para $\varphi = 0$					FS	Tensión Total MPa
Perfil	$\varphi$	$\gamma$	C	h	b	$\alpha$	$\varphi$	$h_{límite}$	$b_{límite}$	$\beta_{límite}$			
1,00	0,00	22,00	90,00	40,00	220,00	10,00	0,00	41,57	420,27	5,65	2,01	9014	
2,00	0,00	22,00	110,00	40,00	400,00	5,00	0,00	40,76	329,80	7,05	2,02	897	
3,00	0,00	22,00	75,00	40,00	550,00	4,00	0,00	42,18	520,26	4,64	2,01	903	
4,00	0,00	22,00	70,00	40,00	790,00	2,00	0,00	42,39	563,21	4,30	2,01	903	
5,00	0,00	22,00	70,00	40,00	700,00	3,00	0,00	42,39	563,21	4,30	2,01	903	
6,00	0,00	22,00	70,00	40,00	600,00	3,00	0,00	42,39	563,21	4,30	2,01	903	
7,00	0,00	22,00	90,00	40,00	260,00	8,00	0,00	41,57	420,27	5,65	2,01	9014	
<b>Promedio</b>	<b>0,00</b>	<b>22,00</b>	<b>82,14</b>	<b>40,00</b>	<b>502,86</b>	<b>5,00</b>	<b>0,00</b>	<b>41,89</b>	<b>482,89</b>	<b>5,13</b>	<b>2,01</b>	<b>922</b>	

### 2.1.2 Obras Subterráneas.

La Figura 3 es una representación esquemática de la Obra Subterránea y las Zonas alrededor de ella.

La Estabilidad se refiere al Macizo Geológico (M), que al sobrepasar su Capacidad Portante el Estado Tensional Natural da origen a una Zona (P) de rocas fracturadas y (F) la Fortificación utilizada.

La Modelación se realiza de la forma siguiente:

La Tensión Vertical se representa mediante  $\sigma_v = 0,027 \times Z \rightarrow \text{MPa} \quad (5)$  y la Tensión Horizontal mediante  $K = \sigma_{Horizontales} / \sigma_{Verticales} \quad (5)$ .

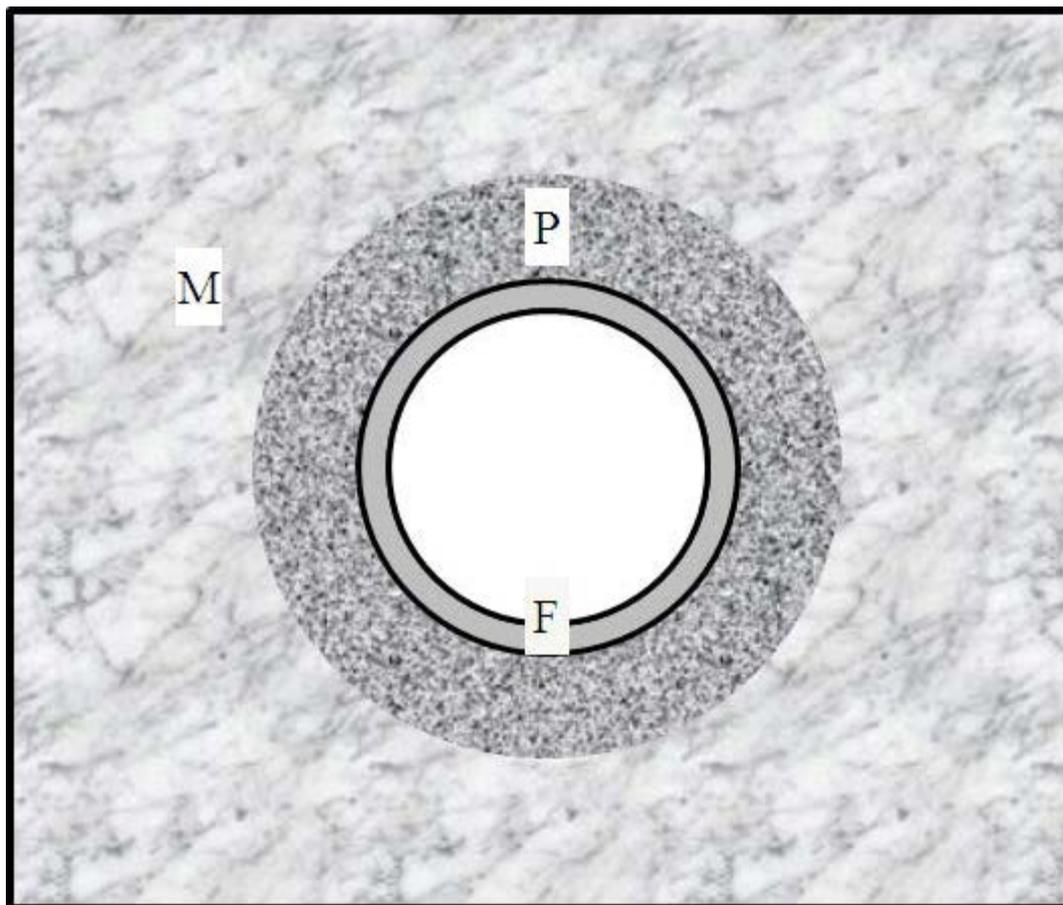


Figura 3 Representación esquemática de las Zonas Estables e Inestables alrededor de la Obra Subterránea.

### Criterio de Estabilidad

Se utiliza la Teoría de Mohr, comparando la posición de los Círculos Límites Inducidos para diferentes combinaciones de  $(K)$  con relación a la Envolvente (8), es conocido que los que se encuentran por encima de esta son Inestables. Figura 4. Las combinaciones de  $(K)$  que provocan la inestabilidad son usadas para el Cálculo de la Fortificación.

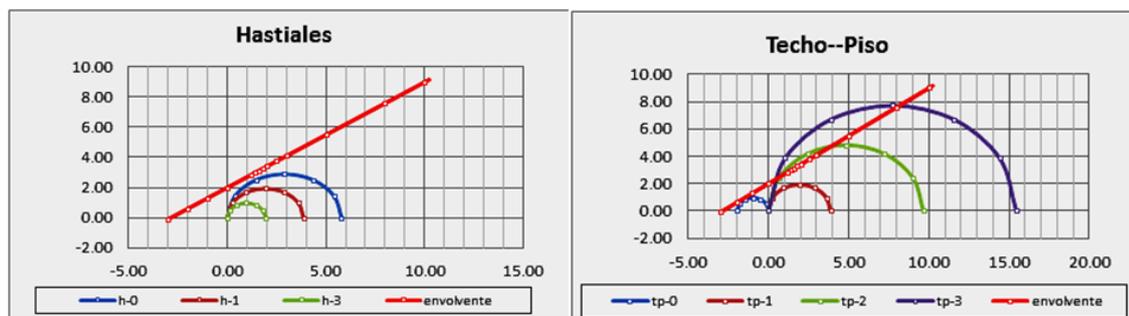


Figura 4 Criterio de Estabilidad utilizando La Teoría de Mohr

### 3 Conclusiones Generales

1-Utilizando la Teoría de Mohr se desarrolló un Procedimiento Unico que permite “pronosticar” la Estabilidad del Macizo Geológico en Taludes y Obras Subterráneas.

2-Como criterio de aplicación práctica se utiliza la Norma Empresarial “Cálculo del Talud de explotación en Préstamos y Canteras (método de estados límites y proyección estereográfica)” en la empresa Materiales No. 7 y la Unidad de Investigaciones para la Construcción –ENIA en la Provincia de Pinar del Río.

## Referencias Bibliográficas

1. Hernández Columbié. Sistema de Gestión por Fallos en la Presa de Colas de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Tereza Hernández Columbié [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.]. MOA: Instituto Superior Minero Metalúrgico; 2015.
2. Diéguez García Y. Metodología para el diseño de Voladuras de Contorno en el laboreo de Excavaciones Subterráneas Horizontales [Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas]. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico; 2014.
3. Martínez Silva. Breve estudio sobre el Factor de Escala del Yacimiento Jucaro, La minería en Cuba Pág. 21 Junio 1979 Rafael Martinez Silva. 1979.
4. Martinez Silva. “Elaboración de Métodos para suministrar la Estabilidad en las Excavaciones Horizontales de las Minas Polimetálicas en Cuba” Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas Leningrado 1984. Pinar del Río: Pinar del Río Hnoz Saíz Montes de Oca; 1984.
5. E. Hoek & E. T. Brown, editor. “Underground Excavations in Rock” Capítulo 2 y (pág 95-101) Instituto de Minas y Metalurgia de Londres 1980.
6. Cornejo Alvarez, editor. Laureano Cornejo Alvarez (Ed.). (2005). *Ingeo Túneles Serie Ingeniería de Túneles Libro 10 Capítulo 1 Construcciones Subterráneas y el Siglo 21 Editor Carlos López Jimeno*.2005.
7. Notario de la Torre. Apuntes para un Compendio sobre Metodología de la Investigación Científica. Angel Notario de la Torre, Universidad de Pinar del Río, 1999.10
8. Feodosiev, editor. Resistencia de Materiales Volumen 2 Página 8 VI Feodosiev1973.

## Dr.C. Rafael Martinez Silva

Doctor en Ciencias, profesor Consultante. Universidad de Pinar del Río. Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba  
Académico Titular  
[martinez@upr.edu.cu](mailto:martinez@upr.edu.cu)

*Presentado: 7 de octubre de 2016*

*Aprobado para publicación: 20 de diciembre de 2016*