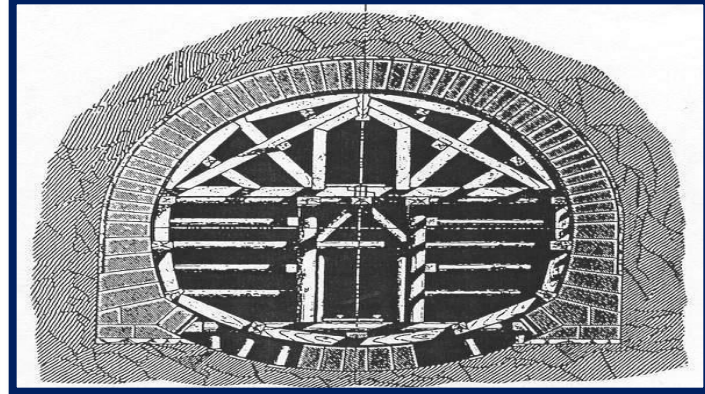
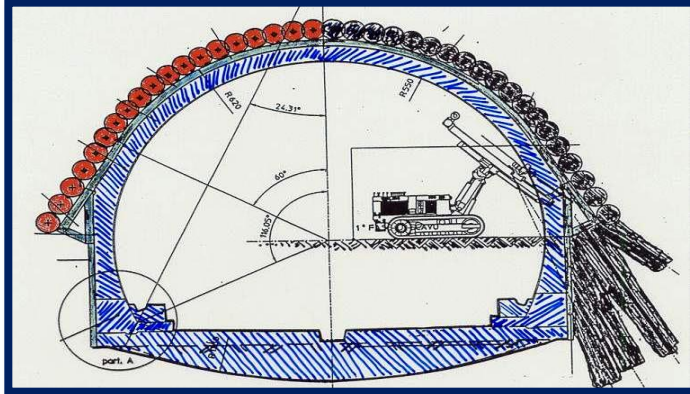


■ GEOTECNIA APLICADA EN MECANICA DE
SUELOS Y GEOMECANICA DE ROCAS

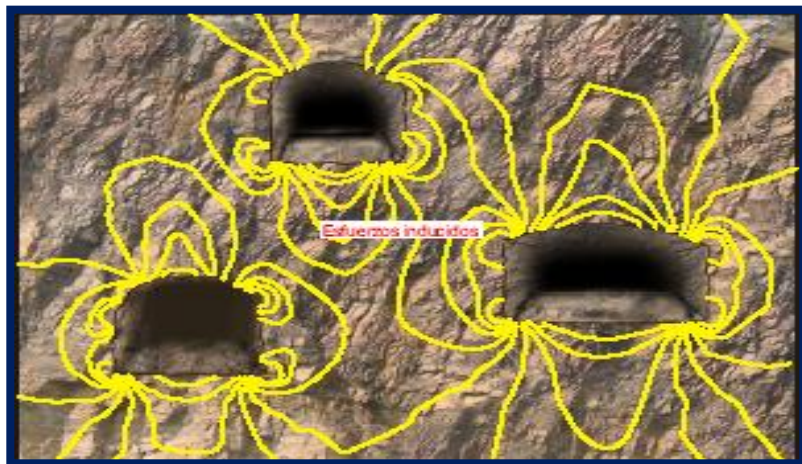
“METODOS DE DISEÑOS PARA EXCAVACION DE TUNELES”

Ing. Víctor Tolentino Yparraguirre Msc.
Consultor Geotécnico

CONSIDERACIONES GEOLOGICAS PARA ELEGIR EL SISTEMA CONSTRUCTIVO



DEFINICION DE ESFUERZO



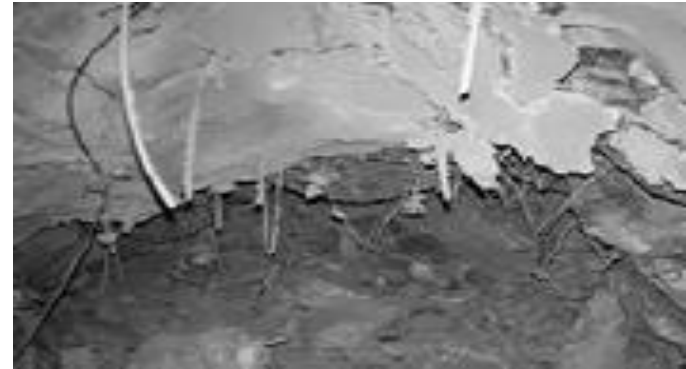
PLANTEAMIENTO GENERAL DEL DISEÑO DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

La estabilidad de un hueco está relacionado con el comportamiento del medio en que se practica, pues si una excavación está excavada en:

un **medio elástico** sólo aparecerán grandes deformaciones elásticas para niveles de tensión muy grandes;

un **medio elastoplástico** (perfecto o con reblandecimiento) pueden aparecer deformaciones muy grandes (y permanentes) a niveles de tensión relativamente moderados.

un **medio fisurado** puede haber deslizamiento y separación de bloques.



ANALISIS TENSIONAL : NORMA OPCIONAL PARA EL DISEÑO DE LA EXCAVACION SUBTERRANEA

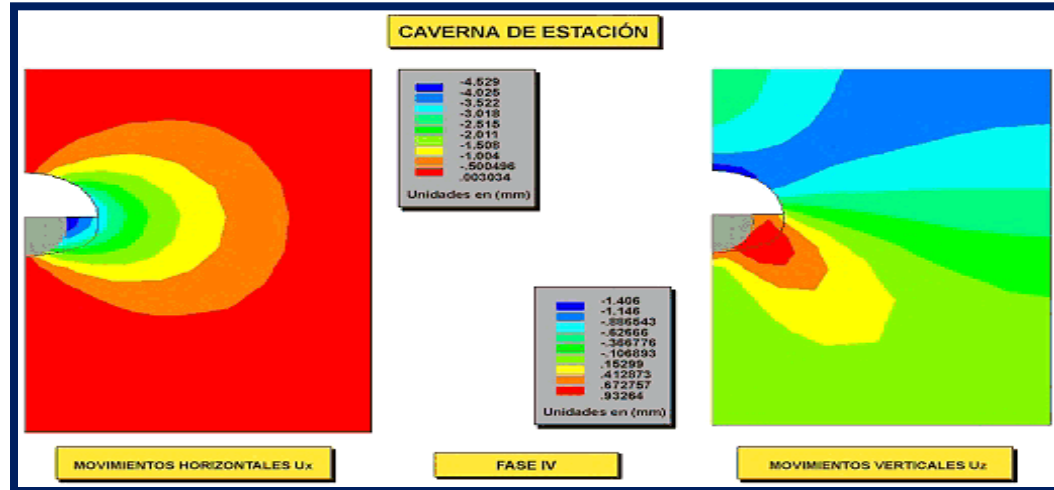
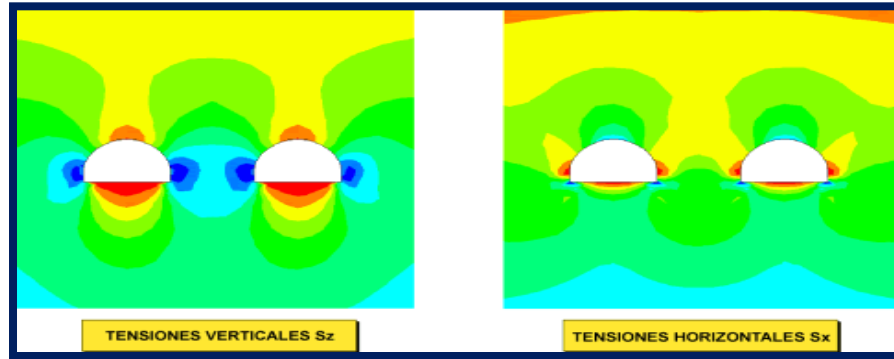
Para el diseño de galería y túneles en macizos rocosos asimilables a **medios continuos y elásticos**, pueden utilizarse las teorías deducidas de la mecánica elástica, que se presentan a continuación:

- La distribución de tensiones en el borde del hueco es independiente del tamaño del agujero pero no de su forma, y lo mismo sucede con las tensiones críticas.
- La distribución de tensiones tangenciales y radiales (y críticas) es independiente de las constantes elásticas de la roca.
- Las concentraciones de tensiones críticas aumentan al disminuir el radio de curvatura del borde del agujero, por lo que no es aconsejable realizar cavidades con esquinas agudas.
- La concentración de tensiones tangenciales en el eje horizontal de una cavidad de cualquier forma tiene su máximo en el borde y disminuye rápidamente con la distancia a éste. Cuanto mayor sea el máximo más rápidamente decrecerá con la distancia al borde.

ANALISIS TENSIONAL : NORMA OPCIONAL PARA EL DISEÑO DE LA EXCAVACION SUBTERRANEA

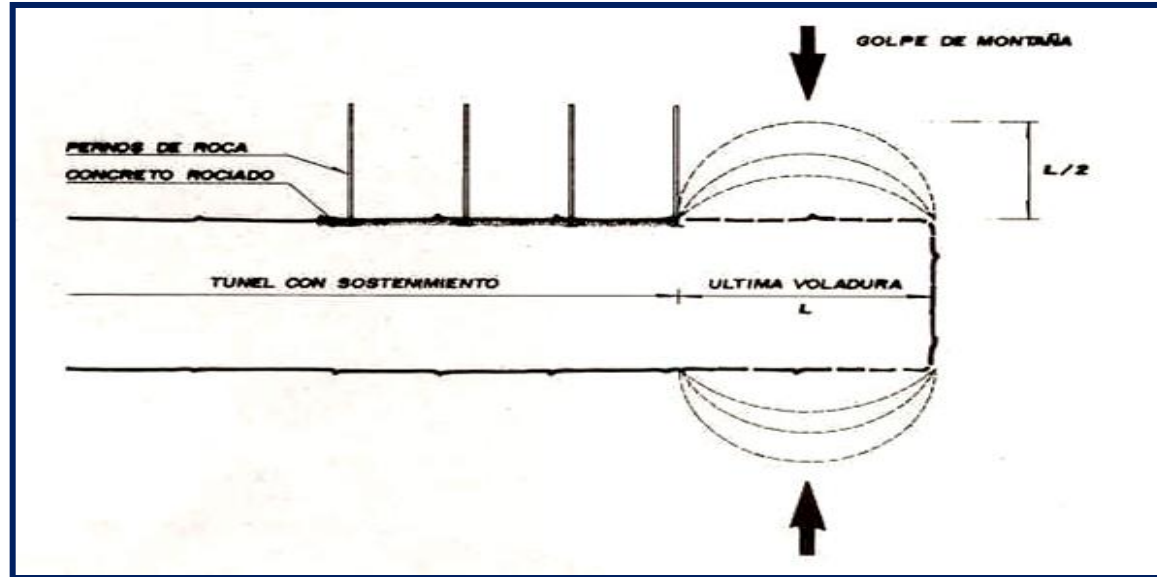
- La distribución de tensiones en una excavación subterránea no es influenciada apreciablemente por la presencia de otra excavación si éste se halla separado del primero por una distancia del orden de cuatro o más radios, por lo que cuando se satisface esta condición el hueco puede considerarse aislado.
- El hecho de que la distribución de tensiones sea independiente del tamaño de la excavación subterránea no debe interpretarse erróneamente suponiendo que la inestabilidad es independiente del tamaño de la excavación, lo que está en fuerte contradicción con la experiencia. **Este aumento de la inestabilidad con el tamaño va asociada al hecho de que al incrementar sus dimensiones existe un mayor número de probabilidades de cortar discontinuidades en la roca, lo que disminuye la resistencia del terreno, dando lugar al denominado efecto de escala.**

COMPUTO DE ESFUERZOS POR ELEMENTOS FINITOS



PROCESO MECANICO DE FALLAMIENTO DE LA ROCA ALREDEDOR DE UNA EXCAVACION

- Según la teoría de Rabcewicz, el proceso de reacomodo de esfuerzos alrededor de una excavación subterránea es mecánico, progresivo y generalmente **ocurre en cuatro fases**.
- Este fenómeno tiene ocurrencias en el último tramo excavado (L), y se inicia tempranamente, cuando la zona no alcanza a disturbarse por el avance de la excavación.



PROCESO MECANICO DE FALLAMIENTO DE LA ROCA ALREDEDOR DE UNA EXCAVACION

➤ **FASE 0 : Inicio de las deformaciones.**

En las paredes, techo y piso del túnel, previo a la rotura del perfil de excavación.

➤ **FASE I : Inicio del Movimiento.**

Formación de cuerpos en forma de cuña, que tienden a introducirse en el túnel por las partes laterales, originando esfuerzos de corte en toda la superficie de Mohr. La dirección del movimiento inicial es normal a la dirección de la presión principal.

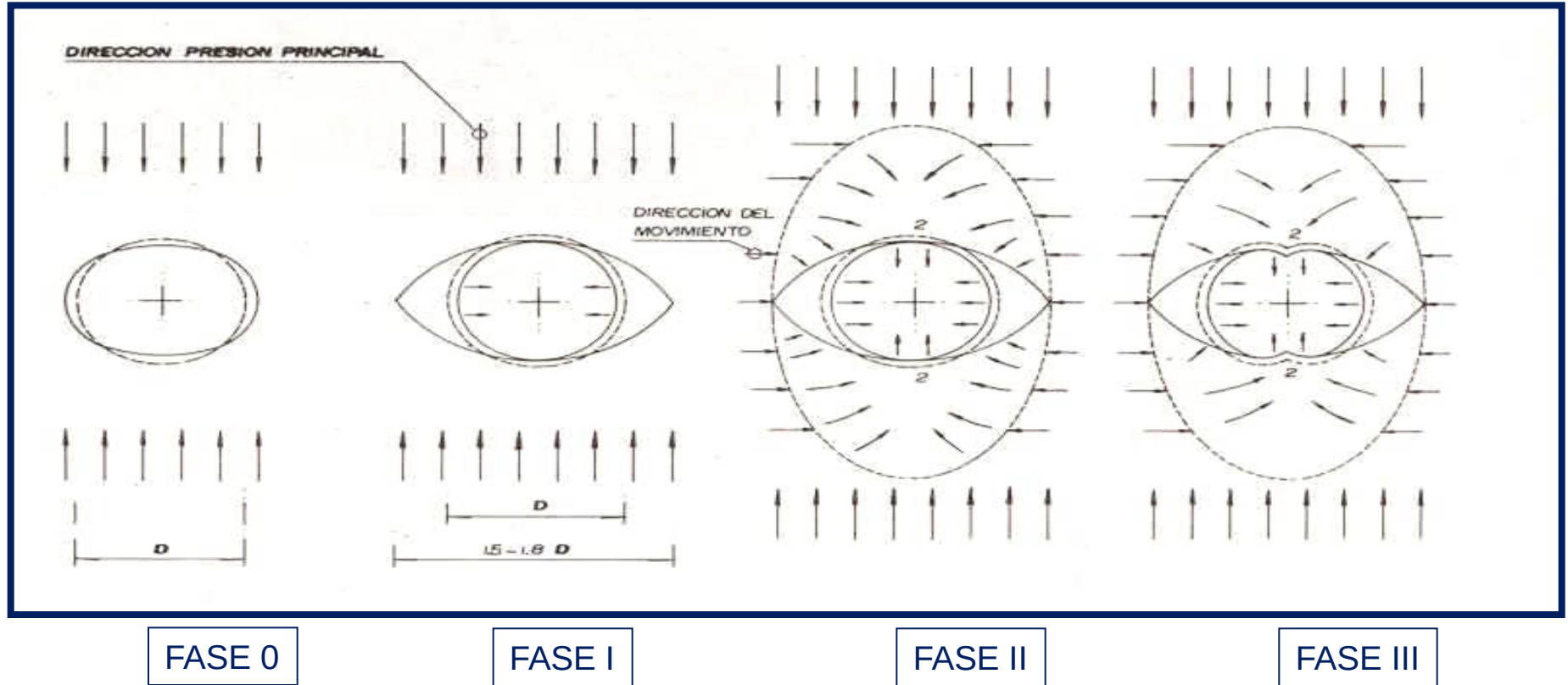
➤ **FASE II : Inicio de la Convergencia.**

Al crecimiento de la longitud (L), y proseguir el incremento de los movimientos, se produce roturas en el piso y techo del túnel.

➤ **FASE III : Formación de las Presiones de Estrangulamiento.**

Al continuar la intensidad de los movimientos, bajo permanente presión lateral sobre la zona de protección, se produce el empuje o derrumbe dentro del túnel.

PROCESO MECANICO DE FALLAMIENTO DE LA ROCA ALREDEDOR DE UNA EXCAVACION



FASE 0

FASE I

FASE II

FASE III

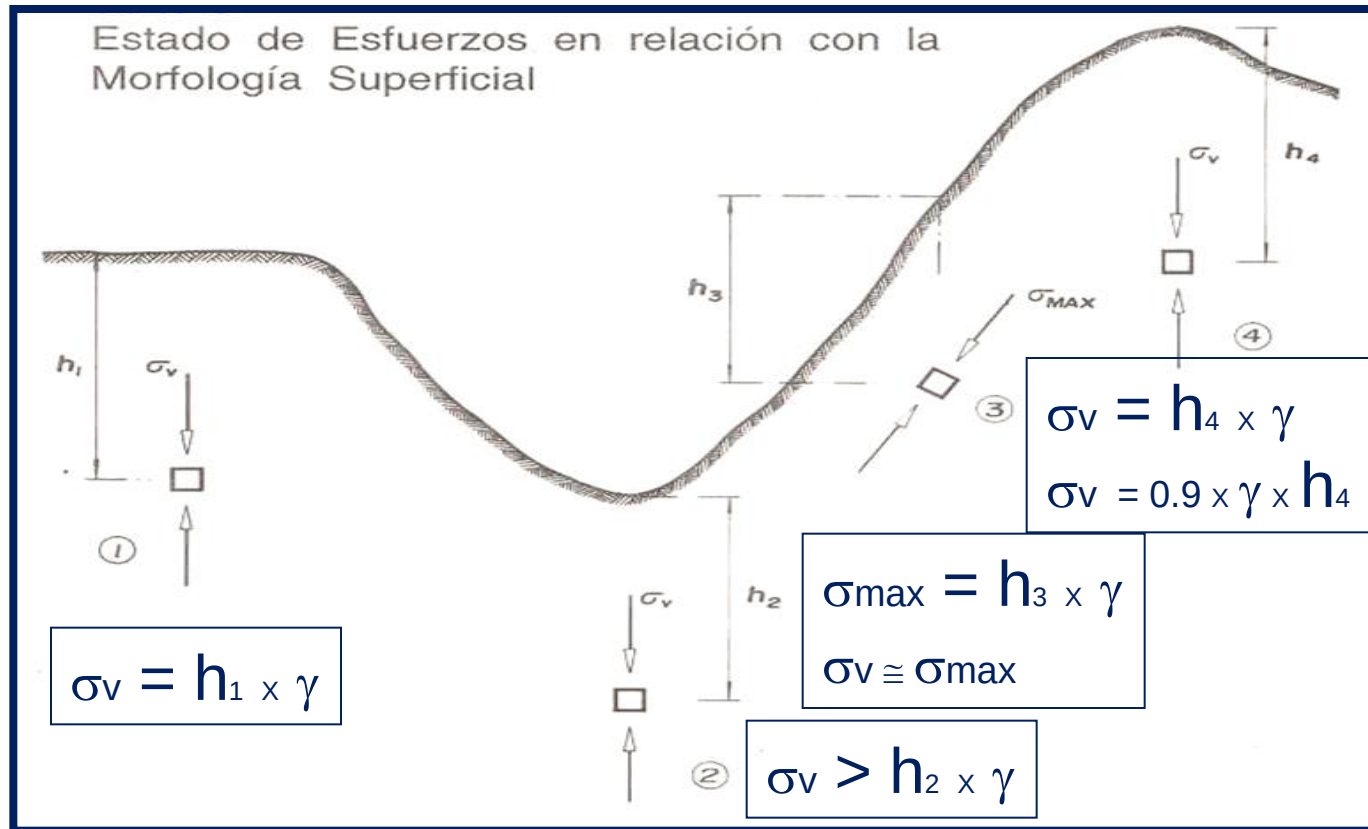
ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION A LA MORFOLOGIA DEL TERRENO

- En todo macizo rocoso inalterado, existe un campo de esfuerzos originados por el peso de la roca suprayacente; este campo sufre modificaciones al producirse la excavación subterránea.
- En el curso de las diferentes etapas de la excavación, estos esfuerzos modificados que podemos llamar “**empujes de roca**” son muy variables con el tiempo y posición, por tanto, es casi imposible la medición de sus dimensiones e intensidades.
- En la zona del macizo rocoso que circunda al límite de la excavación, se puede crear contracciones que sobrepasan a las tensiones admitidas por la roca, entonces la excavación es inestable, por lo que esta roca circundante necesita ser soportada con el fin de conseguir equilibrio y estabilización.
- **Solamente se puede estimar el estado de los esfuerzos preexistentes y se efectúan dentro del término “elástico”, utilizado para describir materiales en los que el trabajo que se aplica sobre su cuerpo es totalmente recuperable, una vez que las fuerzas que originaron las deformaciones han terminado.**

ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION A LA MORFOLOGIA DEL TERRENO

- los esfuerzos que existen en un macizo rocoso inalterado estan en relacion con el peso de los estratos sobreyacente y con la historia geologica del macizo.
- imaginemos un pequeño elemento de volumen integrante de una masa rocosa, donde los esfuerzos actúan en terminos de fuerzas generadas por el peso de la roca superyacente.
- consideraremos cuatro condiciones de esfuerzos para sus correspondiente situaciones, en relacion con la morfología de superficie

ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION A LA MORFOLOGIA DEL TERRENO



DONDE:

σ_v = ESFUERZO VERTICAL

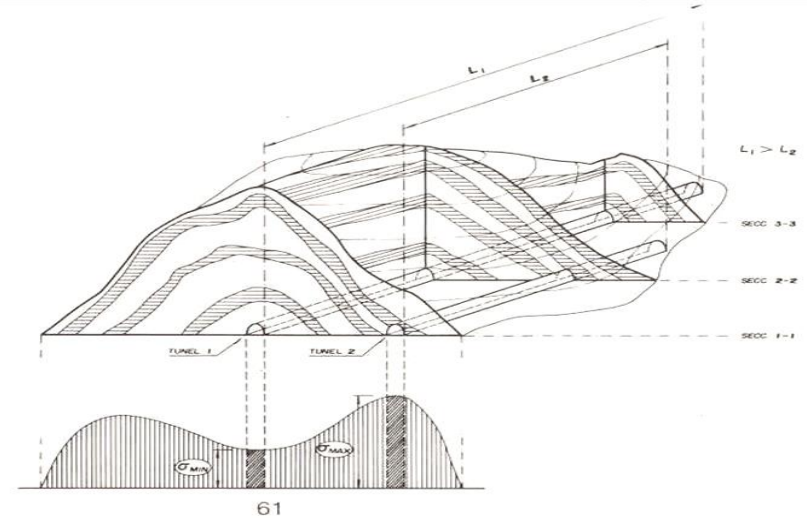
γ = PESO DE LA ROCA

h_4 = ALTURA DE PROFUNDIDA

ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Se considera dos ejes alternativos para la construcción de un túnel, a través de un anticlinal, mientras que el eje del túnel 1 resulta de mayor longitud ($L_1 > L_2$), sin embargo, en el reparto de esfuerzos, el eje del túnel 2 tendrá condiciones de estabilidad más severa. Existe la posibilidad de que su costo final resulte mayor

ANTICLINAL



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Las rocas masivas presentan pocas discontinuidades, generalmente son rocas de buena calidad, pueden estar asociados a cuerpos mineralizados en especial cuando han sufrido silicificación hidrotermal. Estas rocas ofrecen aberturas rocosas estables sin necesidad de sostenimiento, solo un buen desatado.

EN ROCA MASIVA



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- La roca fracturada presenta familias de discontinuidades conformadas principalmente por diaclasas que constituyen planos de debilidad. El factor clave que determina la estabilidad de la excavación es la intersección de estas discontinuidades que forman piezas y bloques.
- Las cuñas bipolares están formadas por la intersección de dos diaclasas cuyo rumbo es paralelo o subparalelo al eje de la excavación.

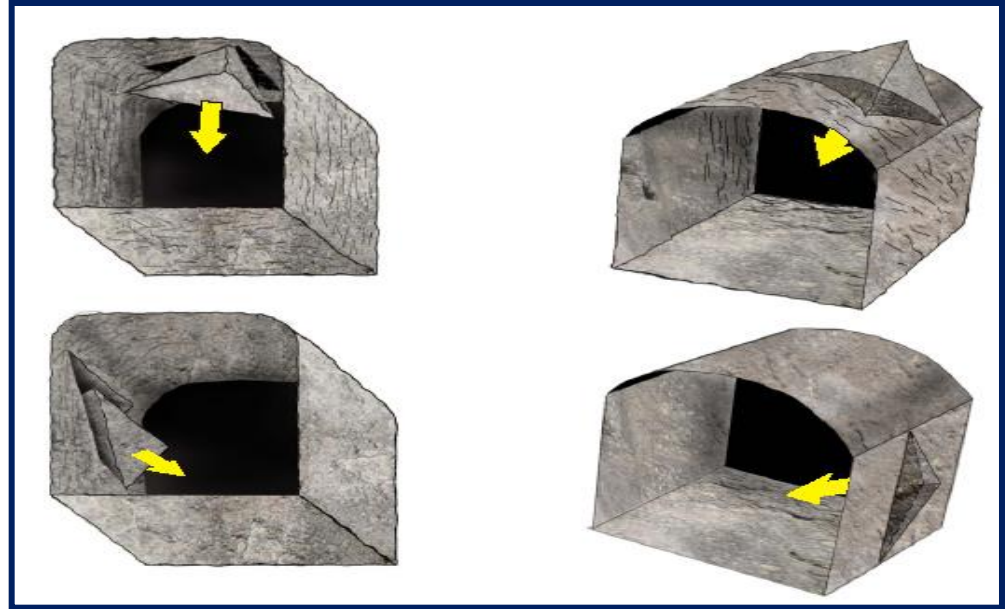
CUÑAS BIPLANARES



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Es otro modo de falla que considera la intersección de tres diaclasas o sistemas de diaclasas en general tres discontinuidades para formar una cuña tetrahedral que podría caer o deslizarse por su propio peso, ya sea desde el techo o desde las paredes de la excavación. Pueden persistir en la bóveda o hastiales. Podría necesitar sostenimiento sistemático.

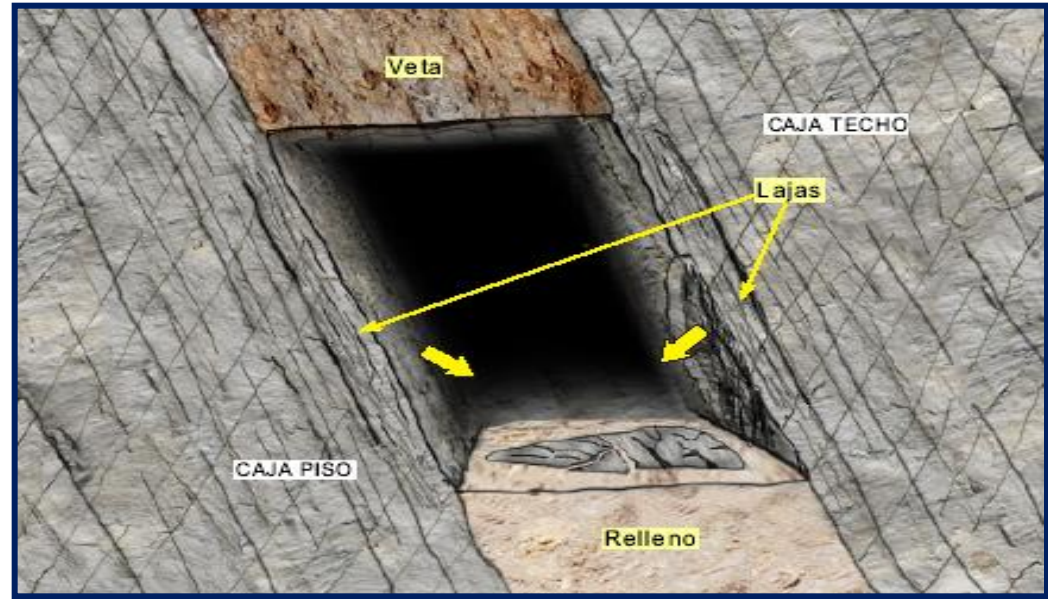
CUÑAS TETRAHEDRALES



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Estos se forman cuando hay sistemas principales de discontinuidades aprox. Paralelos al techo o hastiales de la excavación y además deben existir otros dos sistemas que liberen el bloque. Estos tipos de estructuras se aprecian en la explotación de minas subterráneas donde se extrae el mineral en forma de vetas.

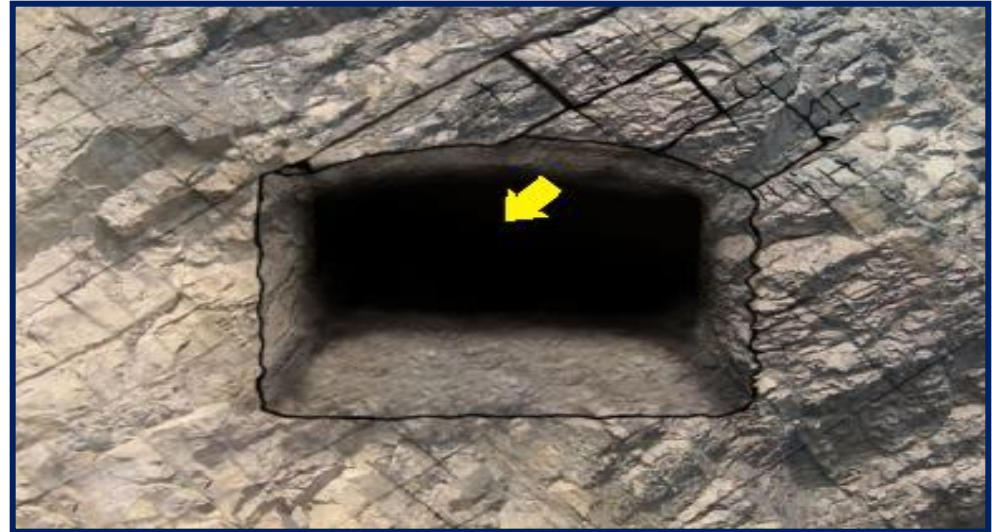
BLOQUES TABULARES



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- La roca de los contornos de la excavación está formada como un edificio de bloques que se auto sostienen. Los bloques liberados por las intersecciones de las diaclasas presentan formas complejas. La falla puede ocurrir por caída o deslizamiento de los bloques debido al efecto de la gravedad.

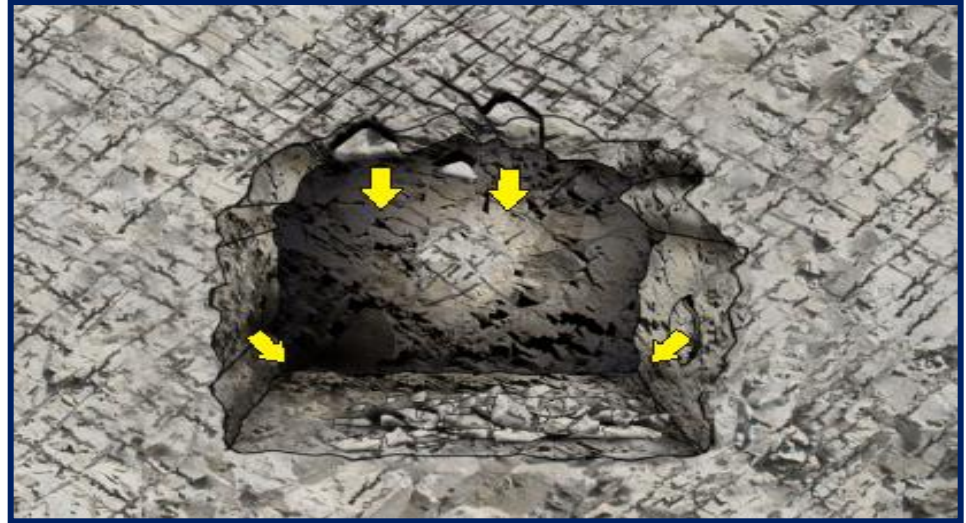
BLOQUES IRREGULARES



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Las rocas intensamente fracturadas presentan muchos sistemas de diaclasas y fracturas, las cuales generan pequeñas piezas o fragmentos rocosos, constituyendo masas rocosas de mala calidad. Las fallas ocurren por deslizamiento y caída de estas pequeñas piezas y fragmentos rocosos o por desmoronamiento de los mismos.
- La falla del macizo puede ir agrandando la excavación y llevarla al colapso.

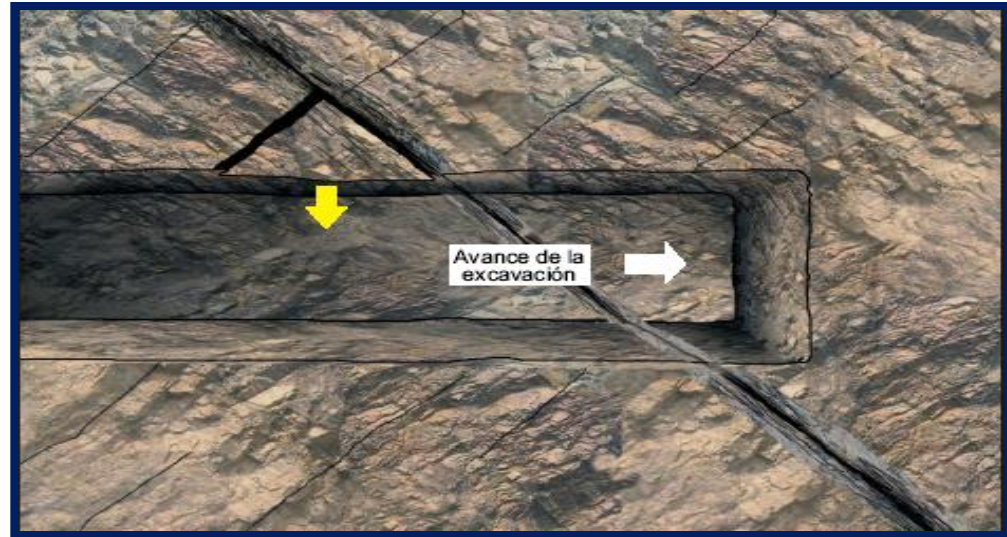
ROCA INTENSAMENTE FRACTURADA



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Las fallas y las zonas de corte están relacionadas a rocas débiles que pueden estar muy fracturados y la falla misma puede contener arcilla o panizo. Las zonas de influencia de las fallas pueden ser de varios metros de ancho pudiendo influenciar en la estabilidad de la excavación.

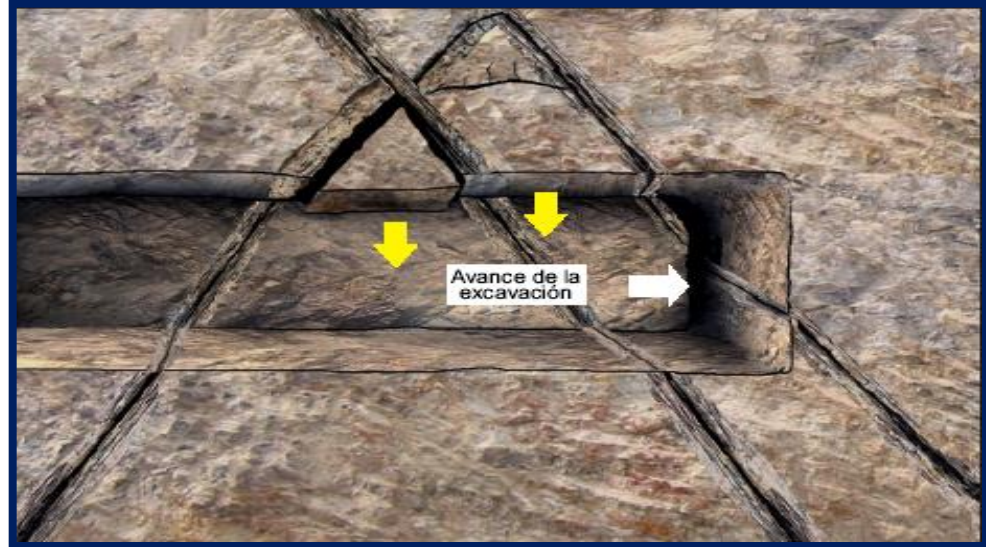
FALLA AISLADA



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

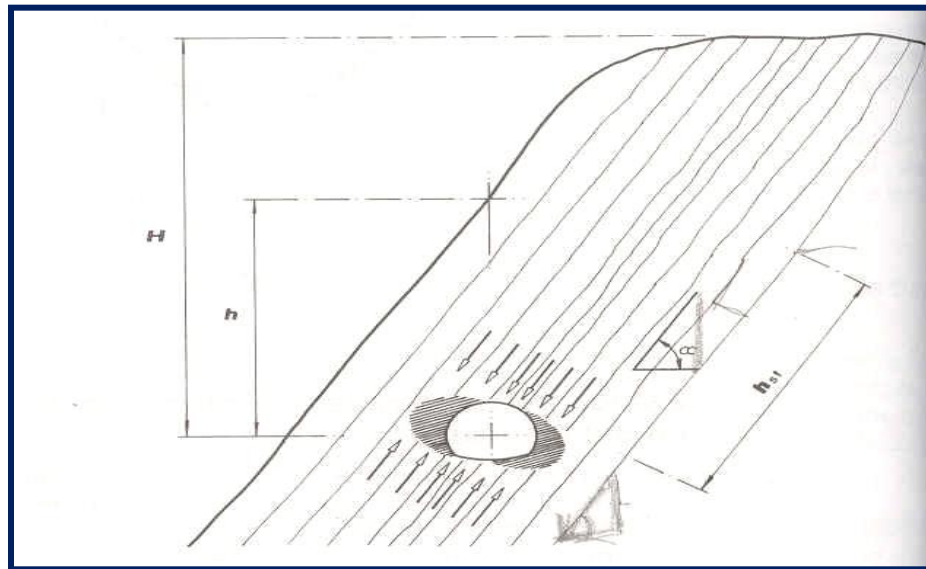
- Las fallas de corte pueden presentarse como estructuras aisladas o como estructuras múltiples, en este ultimo caso, la situación de la estabilidad de una excavación es fuertemente complicada, por la influencia adversa de las fallas.
- Depende mucho de las cantidades de fallas en función al área de la excavación a realizar.

FALLAS MULTIPLES



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRATIFICACION DEL M.R.

- El macizo esta con estratificación inclinada, formando un ángulo (α) con la horizontal, se originan dos tipos de esfuerzos, el primero en dirección de los estratos (σ_{st}), debido a las presiones de cabecera, y un segundo (σ_a), en las zonas de aflojamiento en la periferia de la excavación, debido a las presiones de esponjamiento.



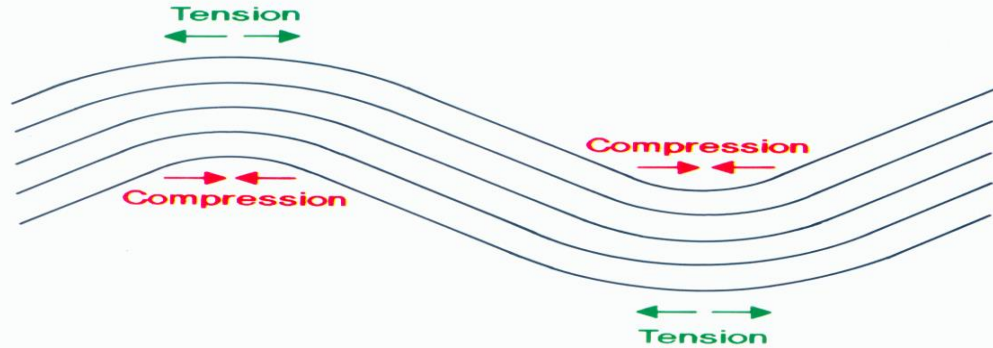
Se tiene:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \gamma \times h \\ \sigma_{\max} &\cong \sigma_{st}\end{aligned}$$

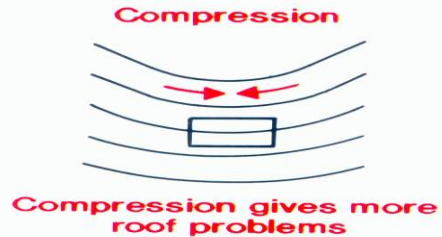
Luego:

$$\sigma_{st} \times \sin \alpha = \gamma \times h_{st} \times \sin \alpha$$

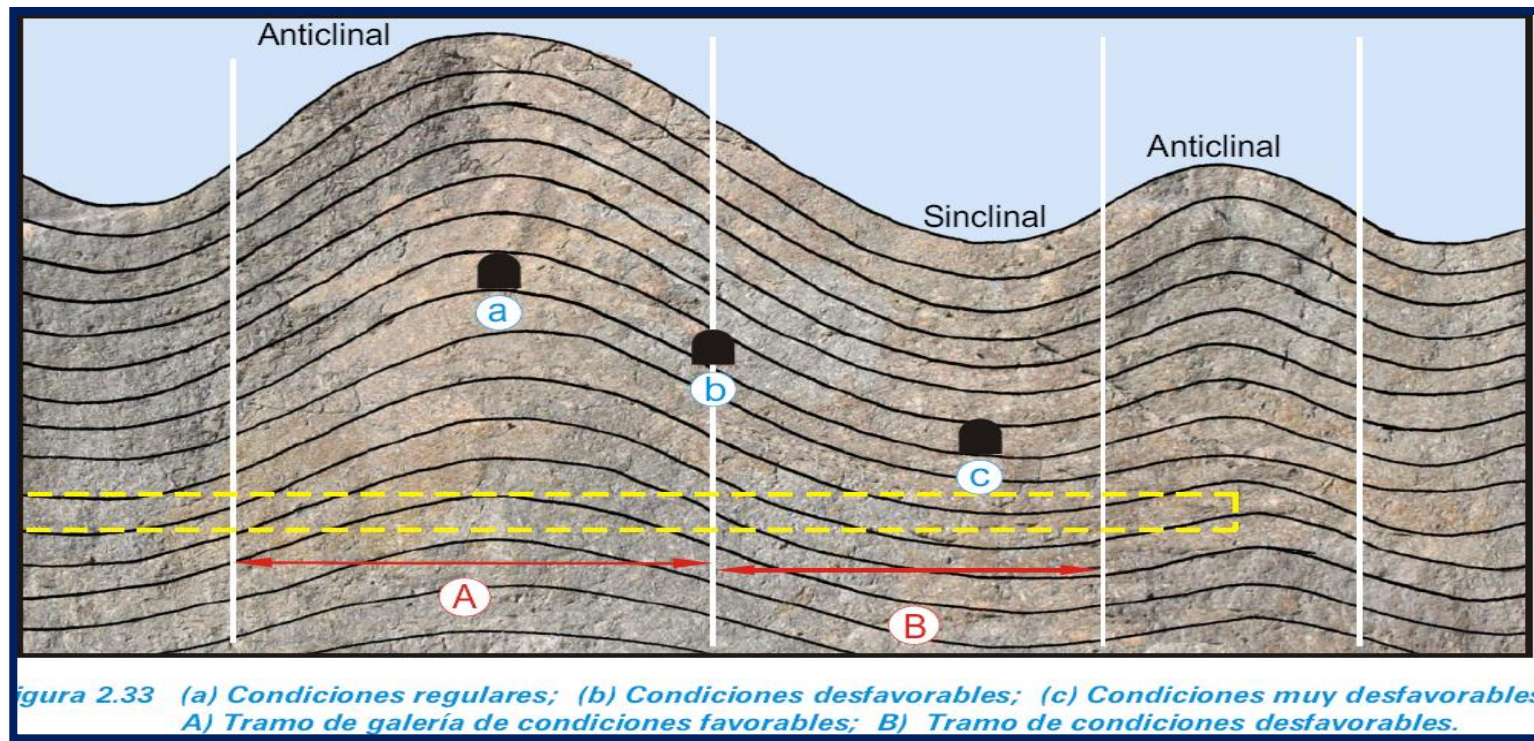
ESFUERZO INDUCIDO POR PLEGAMIENTO



FOLDING CAN LEAD TO EITHER AN INCREASE
OR A DECREASE IN STRESS LEVELS
DEPENDING ON WHERE YOU ARE IN THE ROCK



ESFUERZOS INDUCIDOS POR PLEGAMIENTO



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRATIFICACION DEL M.R.

- La principales características de los planos de estratificación son su geometría planar y su alta persistencia, las cuales hacen que estos planos constituyan debilidades de la masa rocosa, es decir planos de baja resistencia. Los problemas que se generan tienen relación con la separación de los bloques tabulares del techo inmediato y su cargado y deflexión hacia el vacío minado por efecto de la gravedad.

ROCAS ESTRATIFICADAS HORIZONTALES



ESTADO DE ESFUERZO EN RELACION CON LA ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Cuando los estratos tienen buzamientos casi verticales, estos serian la caja piso y techo de la excavación. Los estratos constituyen falsas cajas, formando bloques tabulares que pueden separarse o despegarse de la cajas techo por efecto de la gravedad.
- Las discontinuidades que se presentan en estos tipos de estratificación pueden intersectarse formando varias combinaciones de inestabilidad.

ROCAS ESTRATIFICADAS CASI VERTICALES

