

PARÁMETROS DE DISEÑO QUE DEFINEN LA PERFORMANCE DE UN SISTEMA DE REFUERZO, BAJO CONDICIONES DE ROCKBURST

Julio López C - Consultor Área Minería



TEMARIO

- **MINERIA PROFUNDA – CONCEPTO Y DESAFIOS**
 - **DEFINICION Y PERFORMANCE DEL SISTEMA REFUERZO DINAMICO**
 - **CARACTERISTICAS ELEMENTO ESTRUCTURAL - PERNO**
 - **CARACTERISTICAS ACCESORIO - PLANCHUELA**
 - **CARACTERISTICAS ACCESORIO - TUERCA**
 - **ESTABILIZACION DINAMICA PROYECTO NNM – DIVISION EL TENIENTE**
-



MINERIA PROFUNDA ... CONCEPTOS Y DESAFIOS

MINERIA PROFUNDA ... CONCEPTOS Y DESAFIOS

CONSTRUCTIVOS:

Características **GEOTÉCNICAS ESPECIALES**, condicionan los métodos Excavación a emplear

MEDIO INGENIERIL:

M Rx mas **COMPETENTE, RÍGIDA** y sometido a **ALTOS ESFUERZOS**

INESTABILIDAD:

Colapso x **Eventos dinámicos / Proyección de roca** . Control por Sistema Estabilización **CEDENTES**

Medición de esfuerzo, factor relevante diseño de excavaciones y estabilidad

SEGURIDAD:

Mayor cuidado hacia las personas, **MENOR EXPOSICION**, Equipos remotos y automatizados

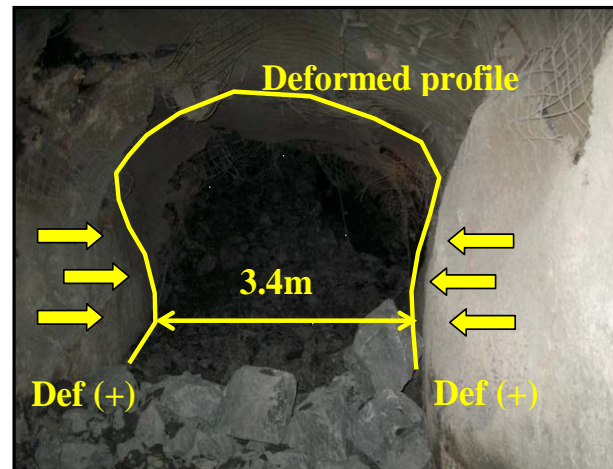
Sistema de **monitoreo sísmico** / Alerta Temprana / Diseño sostenimiento

A MAYOR PROFUNDIDAD EL NIVEL DE ESFUERZOS AUMENTA PROGRESIVAMENTE



MINERIA PROFUNDA ... CONCEPTOS Y DESAFIOS

ROCKBURSTmecanismo **rotura frágil**, litologías rígidas y competentes $RC > 70$ Mpa desarrollo de lajado de la roca (spalling), y en los casos más severos provocan la aparición de fenómenos súbitos de estallido de roca (**ROCKBURST**).



squeezing



estallido de roca (rockburst)

ESTALLIDO DE ROCA - ROCKBURST

CAUSA DEL ROCKBURST

Es (en muchos casos) una combinación de factores geomecánicos, deformabilidad y minería **Rigidez de la roca y de un nivel de tensión lo suficientemente alto como para exceder la resistencia de la roca.**

Sismicidad inducida

EL POTENCIAL DE FALLA VIOLENTA ALTO,

EN ROCA HOMOGÉNEA **baja discontinuidades naturales o con poca variación mineralógica.**

CONTROLAR Y PREVENIR LA OCURRENCIA DE ROCKBURST ,

Disminución de la rigidez de las rocas.

Inducción pre – fractura a la roca intacta

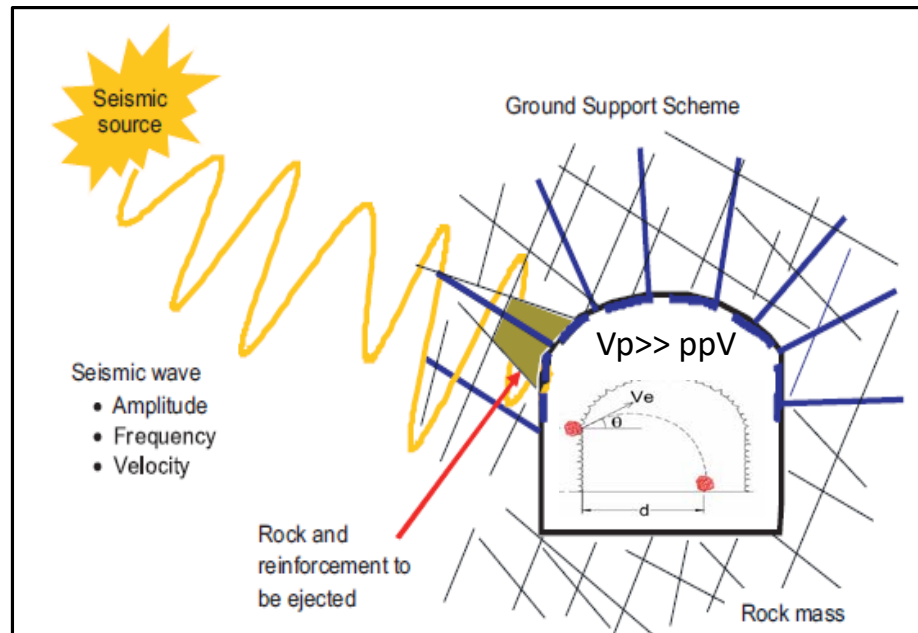
Mayor disipación de energía en la roca

Cambiar la disposición de la excavación para disminuir las tensiones.

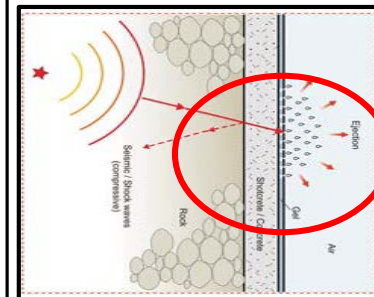
Cambio en la geometría o forma de la Excavación.

ESTALLIDO DE ROCA - ROCKBURST

El almacenamiento de energía llega a un PUNTO CRITICO donde se produce una LIBERACION VIOLENTA DE ENERGIA que se refleja como un colapso repentino al interior del macizo rocoso y se trasmite como onda elástica



La Energía Dinámica, se transfiere de la masa de roca al SOPORTE DE LA SUPERFICIE durante los procesos de fracturación y expulsión de la roca provocada por un evento sísmico.



Vibración = Esfuerzo Mecánico



Nuevas fracturas
Dilatación de Fracturas

SISTEMA DE ESTABILIZACION DINAMICO

UN sistema DINAMICO de ESTABILIZACION deben absorber la energía dinámica liberada durante UN SISMO O EXPLOSION DE ROCA, así como MINIMIZAR la DEFORMACION (convergencia)

La disipación de energía depende tanto de la :

- CAPACIDAD DEL “ SISTEMA DE SOPORTE” DE ROCA PARA DEFORMARSE, como de la
- CAPACIDAD DE RESISTENCIA DEL “SISTEMA DE REFUERZO” DE ROCA



TRABAJO COMO SISTEMA INTEGRAL

COMPATIBILIDAD de los COMPONENTES ENTRE SÍ (sistema integral)



Determina la efectividad y capacidad del esquema de ESTABILIZACION BAJO CONDICIONES CUASISTÁTICAS Y DINÁMICAS.



SISTEMA DE ESTABILIZACION DINAMICO

El **PRINCIPIO GENERAL** de estabilización en minas sometidos a **RIESGO DE UNA CARGA DINÁMICA** es utilizar *un SISTEMA CEDENTE* : Pernos cedentes - Malla cedentes.

REQUISITOS

CAPACIDAD DE MANTENER LA INTEGRIDAD DEL MRX

ALTA CAPACIDAD DE CARGA

Capacidad Mecánica / Rigidez

CAPACIDAD DE DESPLAZAMIENTO

ABSORBER GRANDES DEFORMACIONES DEL MRX

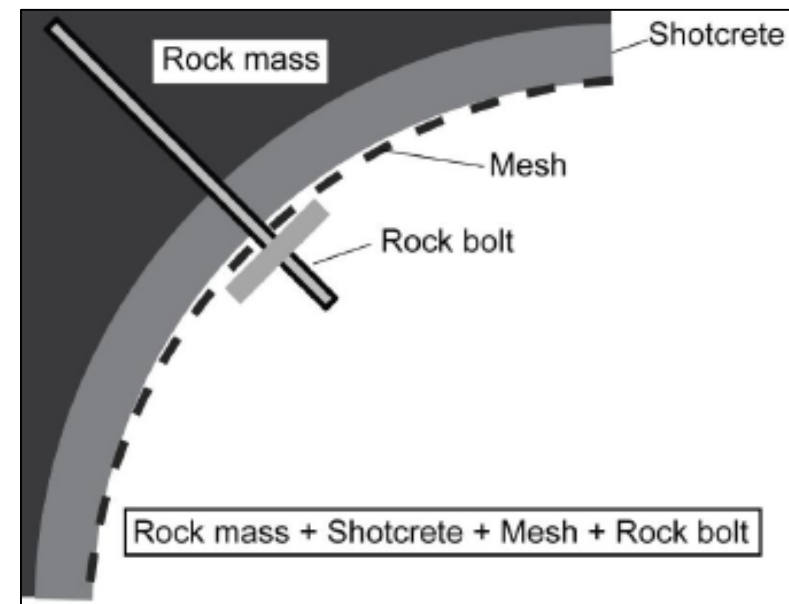
Alta ductilidad/capacidad de deformación

Desacople - Baja adherencia

CAPACIDAD DE ABSORBER ENERGÍA

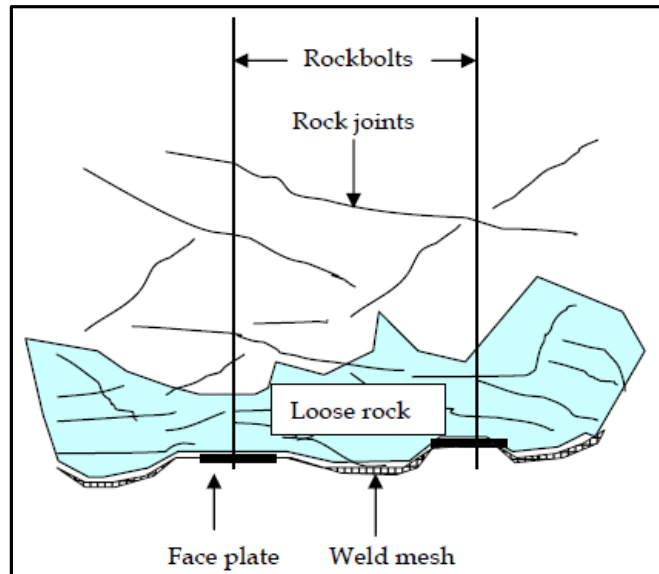
CAPACIDAD DE TRABAJO

Alto % de Elongación



SISTEMA DE ESTABILIZACION DINAMICO

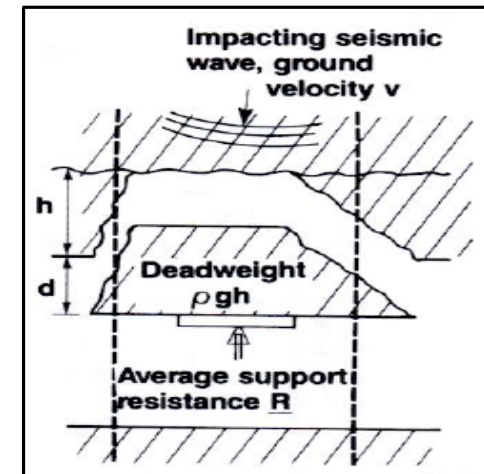
El **PRINCIPIO GENERAL** de estabilización en minas sometidos a **RIESGO DE UNA CARGA DINÁMICA** es utilizar *un sistema cedente* : **PERNOS CEDENTES - MALLA CEDENTES.**



La capacidad de soporte en roca bajo carga dinámica debe ser evaluada como **UN SISTEMA INTEGRAL (soporte + refuerzo)** no como elementos **INDIVIDUALES** de estabilización

↓
DISEÑO CARGAS DINÁMICAS no reemplaza EL **DISEÑO PARA CARGAS ESTÁTICAS,**

↓
FS debe considerar **MÁS DE UN EVENTO DINÁMICO**

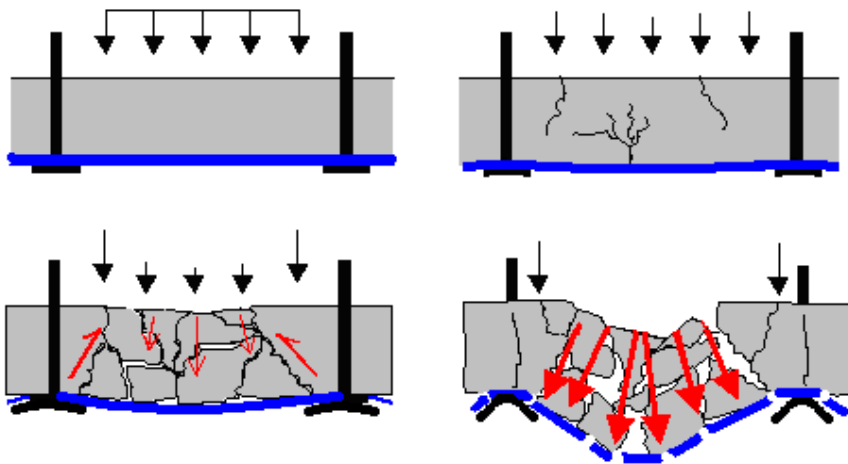


SISTEMA DE ESTABILIZACION DINAMICO

La **RESISTENCIA Y PERFORMANCE** de un **SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN** bajo carga de un **EVENTO SÍSMICO**, quedara definida por el **ESLABÓN MÁS DÉBIL**

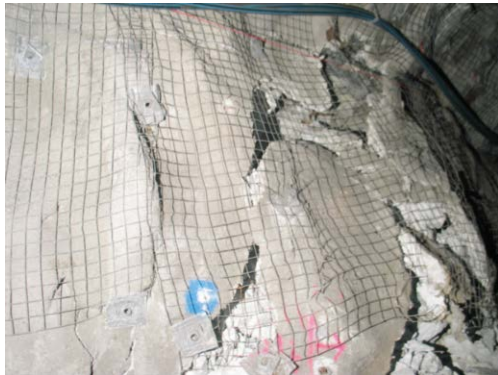
SOPORTE : shotcrete - malla

REFUERZO: Perno, Placa, Tuerca



Quando el soporte de superficie o la placa o la disposición de geométrica del pattern fallan , LA CARGA DINAMICA NO SE TRANSMITE AL REFUERZO, y la roca probablemente será **EXPULSADA POR ENTRE LOS PERNOS**

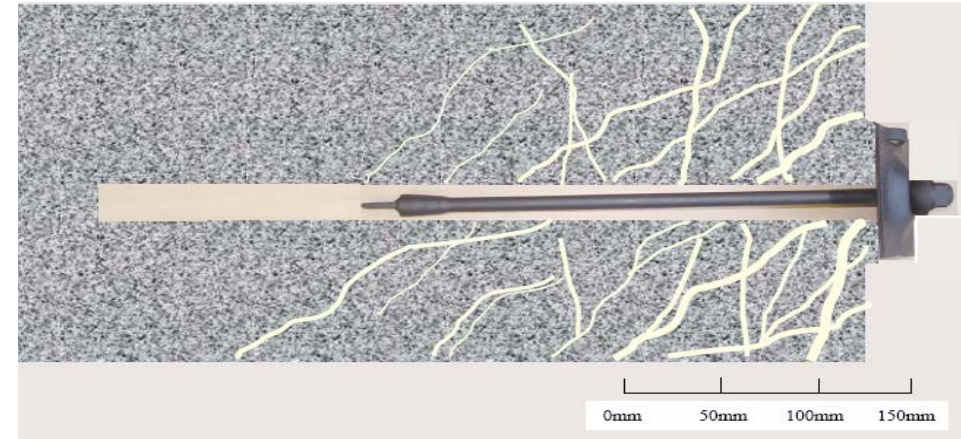
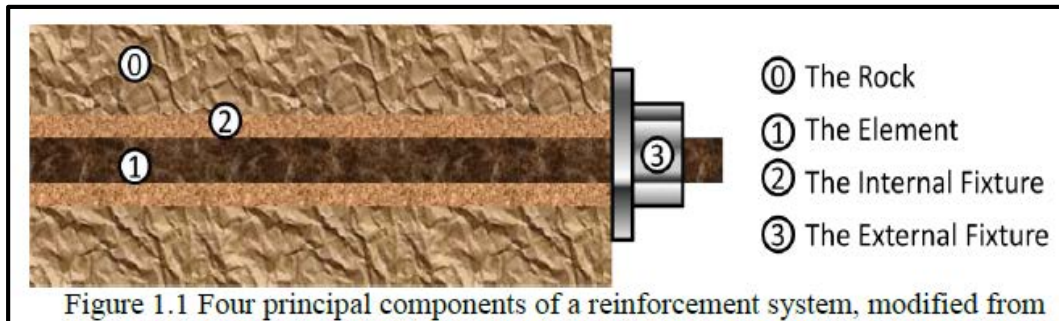
SISTEMA DE ESTABILIZACION DINAMICO





PERFORMANCE DEL SISTEMA REFUERZO DINAMICO PERNO + PLACA + TUERCA

PERFORMANCE DEL SISTEMA REFUERZO



La **PERFORMANCE DE UN SISTEMA DE REFUERZO DE ROCA**, en ambiente **DINÁMICO**, dependerá de todos **LOS COMPONENTES Y DE LA TRANSFERENCIA DE CARGA ENTRE ELLOS**

REQUISITO ESENCIAL: COMPATIBILIDAD ENTRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA



CARACTERISTICAS ELEMENTO ESTRUCTURAL PERNO

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

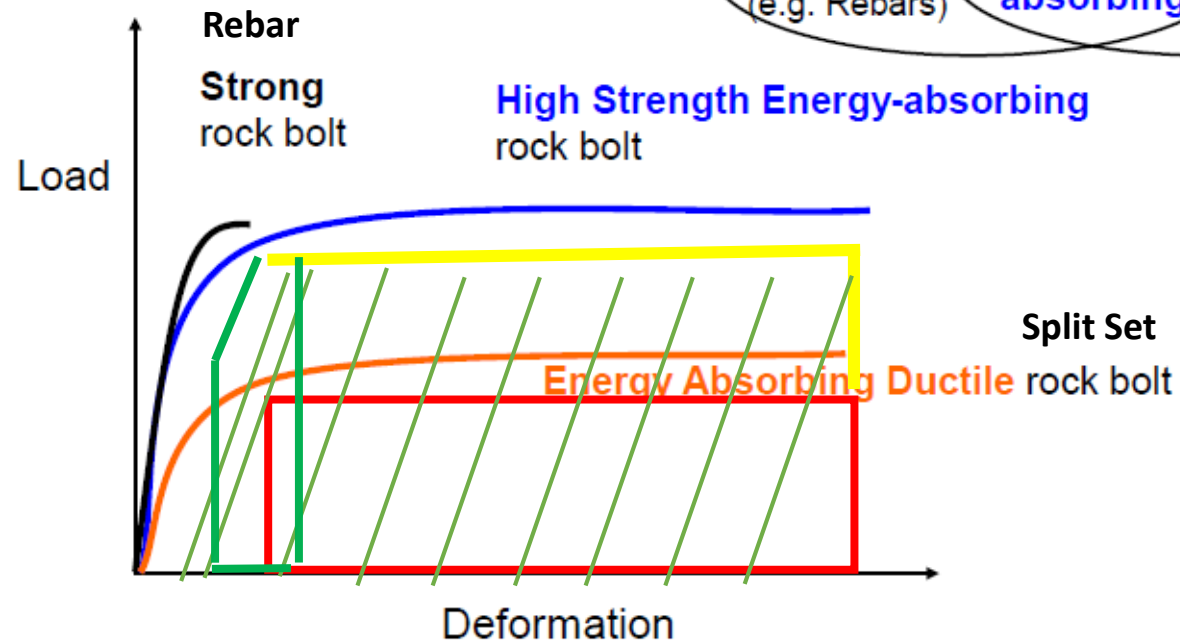
COMBINACION DE RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

Combines strength and ductility
to control energy release conditions

Strength
(e.g. Rebars)

Energy-
absorbing

Ductility
(e.g. Split set)



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

BOLT CAPACITY

The yield capacity (C) of a roof bolt is normally determined by the bolt diameter (D) and the grade of the steel (G):

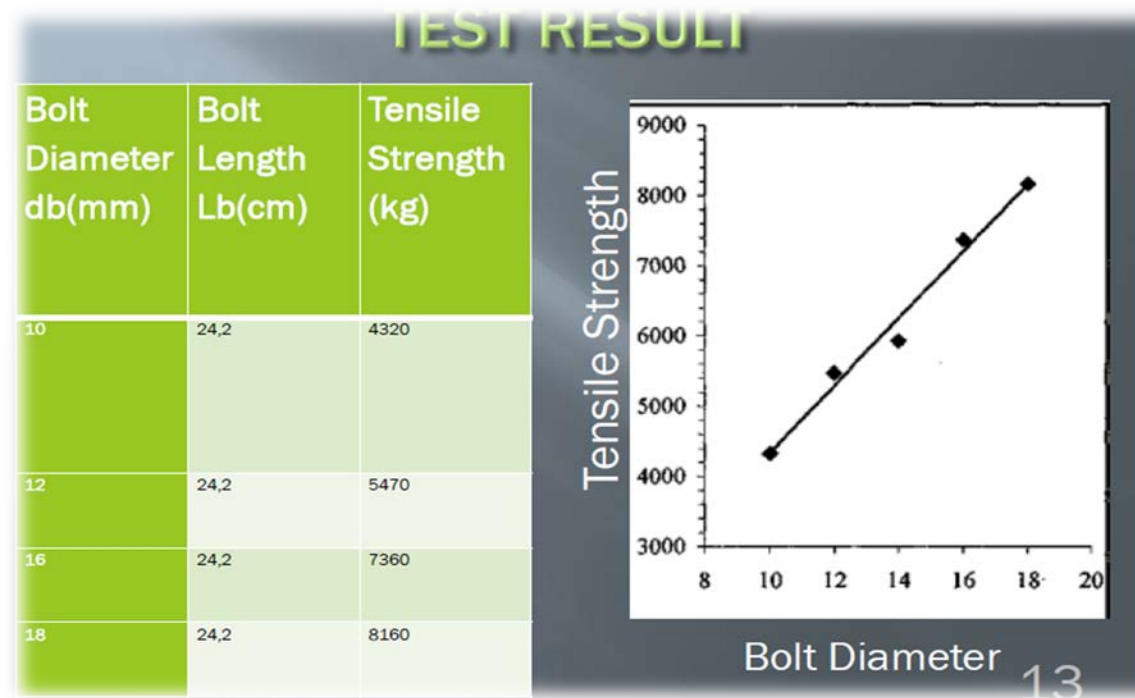
$$C = \left(\frac{\pi}{4} \right) GD^2 \quad (1)$$

En general, las **BARRAS MÁS GRUESAS (mayor diámetro)** proporcionan mayor capacidades de absorción de energía y desplazamiento a medida que se estiran más y ofrecen más resistencia que las barras delgadas

LOS PERNOS DE ROCA MÁS RESISTENTE PUEDEN CONTENER UNA MASA MÁS GRANDE DE ROCA SUELTA (Kaiser et al. 1996).

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

PERNO DE SIMILAR PERFIL GEOMETRICO



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

LA RIGIDEZ ES UNA MEDIDA DE LA VELOCIDAD CON LA QUE EL SISTEMA DE REFUERZO DESARROLLA **CAPACIDAD DE CARGA EN RESPUESTA A LA DEFORMACION DE LA ROCA(MARK, 2000).**

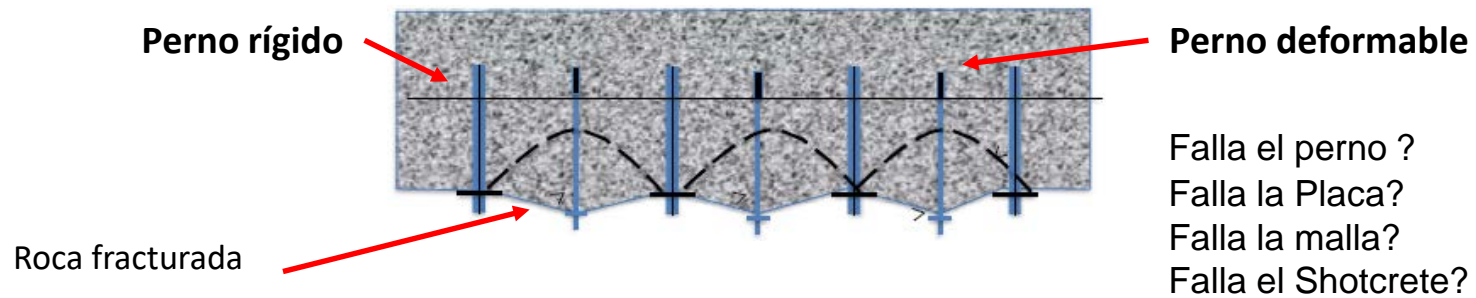
UN REFUERZO MÁS RÍGIDOS DESARROLLARA LA CAPACIDAD EN UN MENOR TIEMPO Y **EL DESPLAZAMIENTO SERA MAS LEVE.**

UN AUMENTO DEL DIAMETRO AUMENTA LA RIGIDEZ

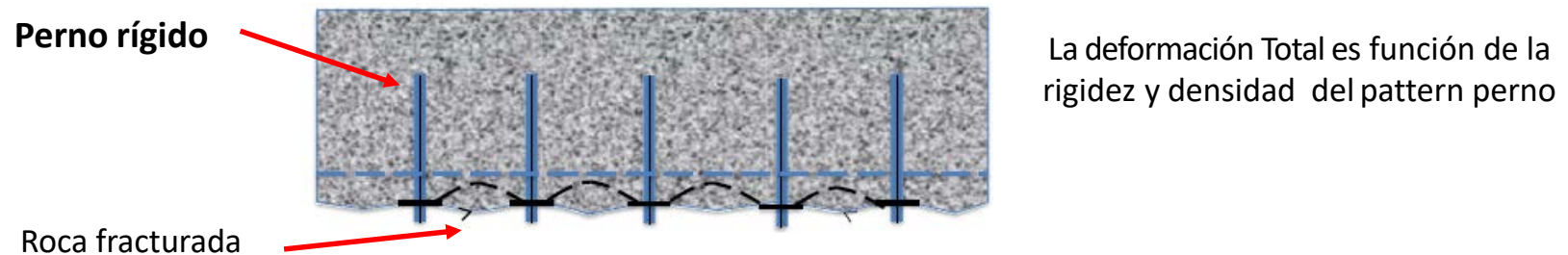
Stiffness (K) is a function of the area (A), material modulus of elasticity (E), and the length of the support (L):

$$K = \frac{AE}{L} \quad [2-28]$$

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL



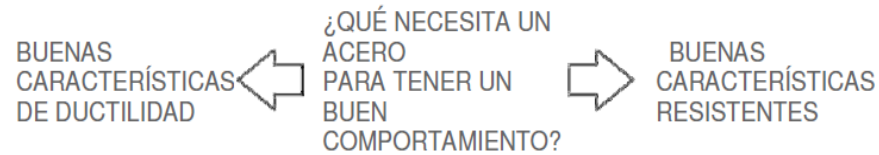
¿QUÉ SUCEDE EN UN SISTEMA DE RIGIDEZ EQUILIBRADO?



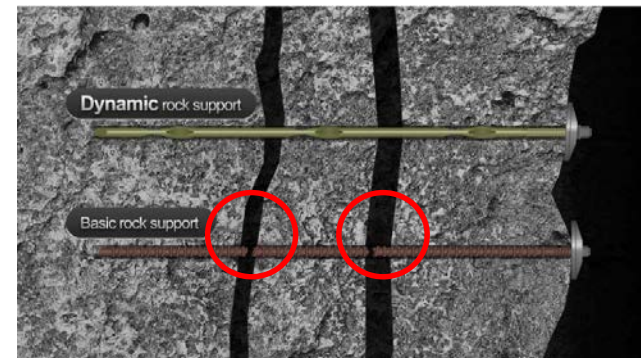
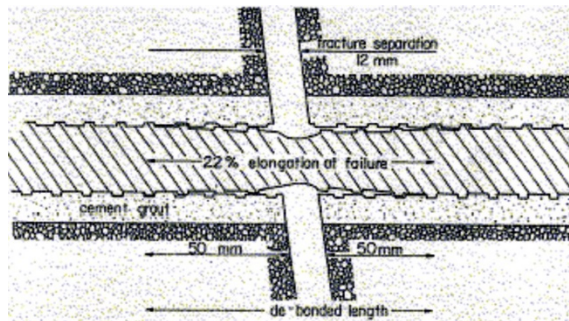
EL SOPORTE DE LA SUPERFICIE PUEDE DEFORMARSE DE MANERA MÁS UNIFORME MENOR CIZALLE DE LA ROCA Y DEL HORMIGÓN PROYECTADO

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

DUCTILIDAD..... La ductilidad de un acero sometido a tracción es la capacidad para deformarse bajo carga, sin romperse, una vez superado el límite elástico”



El refuerzo en general puede disipar energía a través de la **ruptura de la interfase (Adherencia)**, la **deformación del acero**, o por la **fricción (geometría)** o una combinación de lo anterior



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

ADHERENCIA HORMIGÓN-ACERO.....es el mecanismo básico sobre el que descansa el funcionamiento del **HORMIGÓN ARMADO**

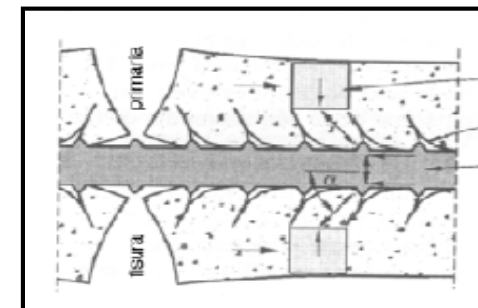
Si no existiese **ADHERENCIA**, **DESACOPLE**

- Las barras serían **incapaces** de tomar el menor **esfuerzo de tracción**,
- La barra **deslizaría** sin encontrar resistencia en toda su longitud
- No acompañaría al hormigón en **sus deformaciones**, con lo que, al fisurarse éste, sobrevendría bruscamente la rotura



desacople

adherencia



ESFUERZOS DE TRACCIÓN, mantiene la unión entre los dos materiales en las zonas entre fisuras

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

Carga (kN)



Índice de trabajo (I):

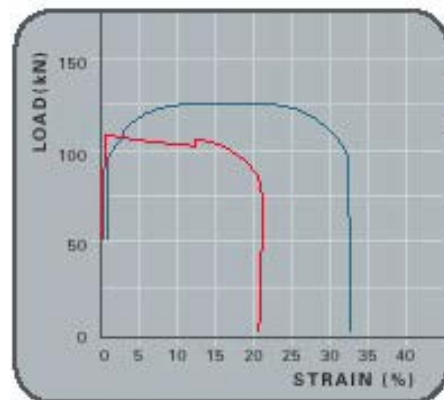
Herramienta utilizada en resistencia de materiales para medir la **CAPACIDAD DE TRABAJO O DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**.

Genéricamente, se define **ENERGÍA COMO LA CAPACIDAD DE UN CUERPO para realizar TRABAJO**,

$I = \text{Área debajo de la curva carga} = (\text{kN}) * \text{elongación } (\Delta L/L\%).$

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

I= Área debajo de la curva carga = (kN) * elongación ($\Delta L/L\%$).

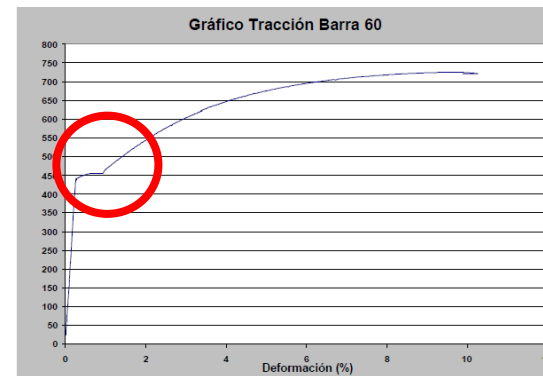
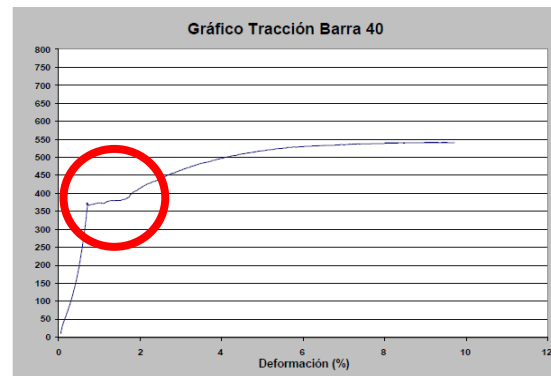


- Barra 25 mm
- Barra 25 mm plus

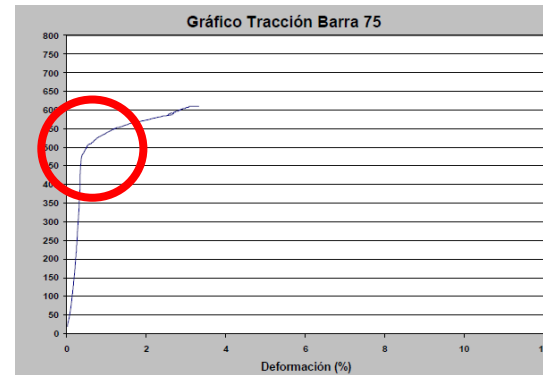
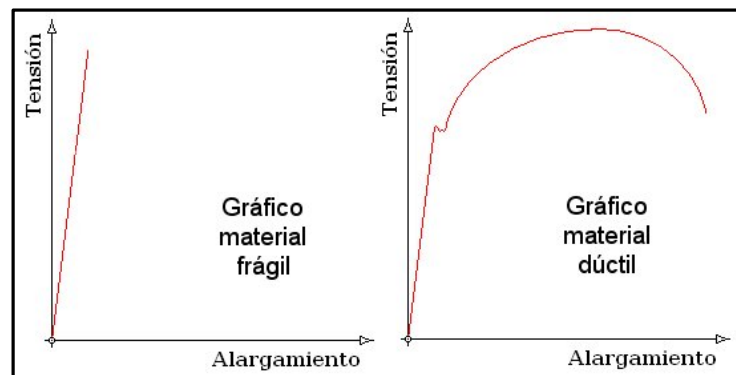
	Carga máxima kN	Elongación %	Índice de trabajo kNx%
Perno gr 60	310		
7	2170		
Perno gr 60 Plus	310		
12	3720		
<i>% Incremento</i>	<i>+ 0%</i>		<i>+</i>
17%	<i>+ 17 %</i>		

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL

CAPACIDAD DE TRABAJOElongación.....TIPO DE FALLA ACEROS COMERCIALES

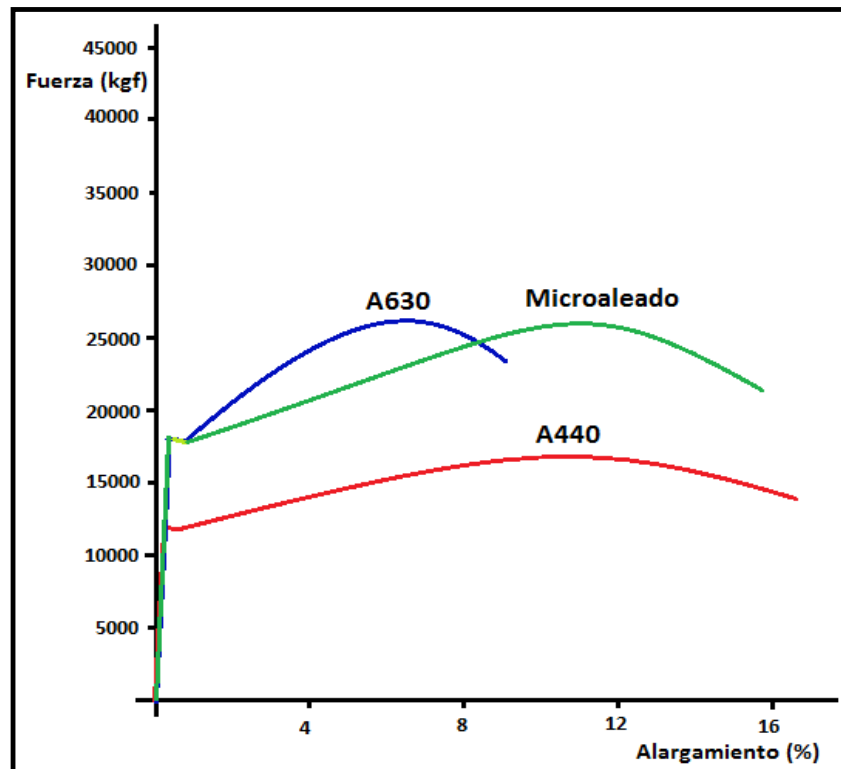


Acero Dúctil

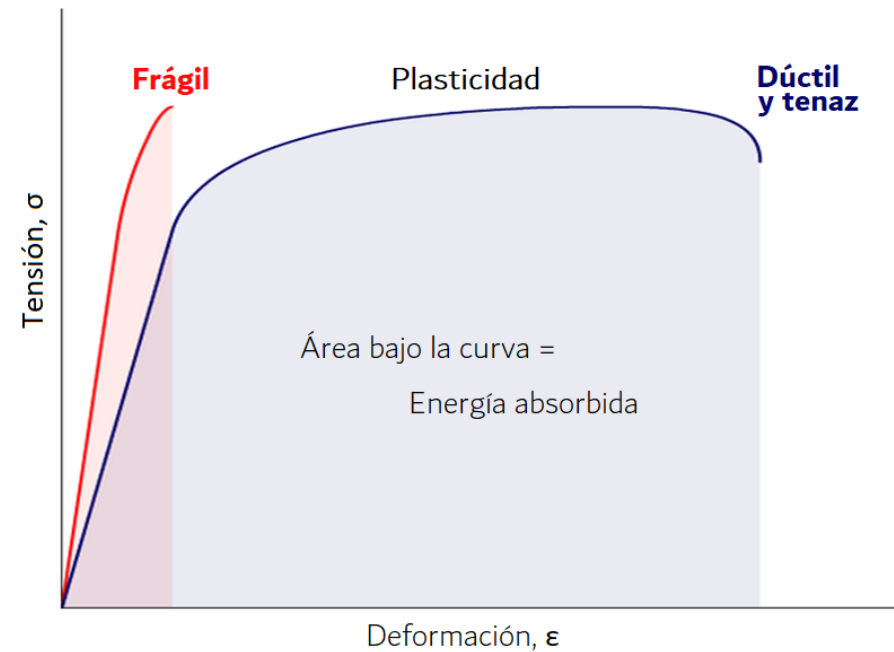


Acero Frágil

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...ELEMENTO ESTRUCTURAL



Plasticidad /Ductilidad

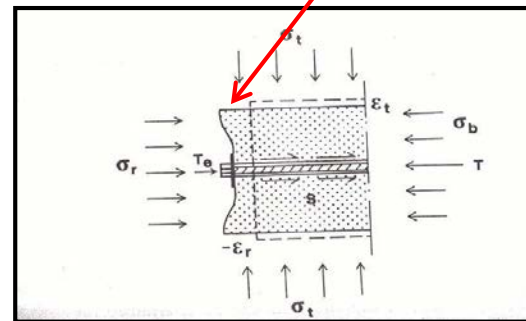
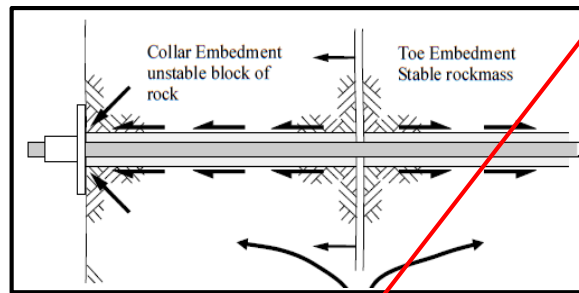




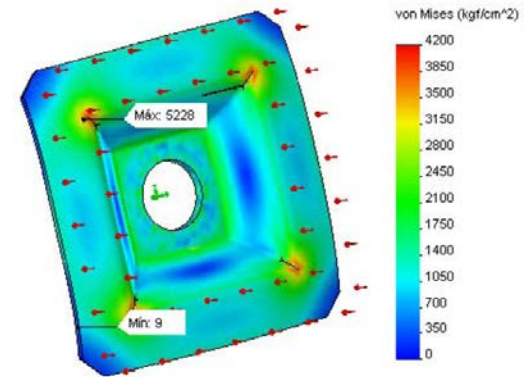
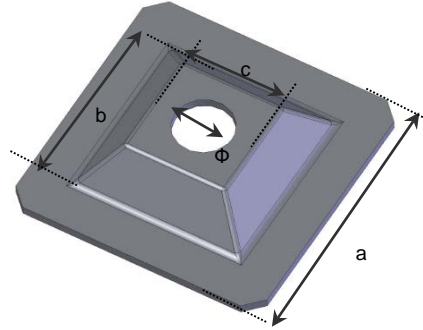
CARACTERISTICAS ACCESORIOS - PLANCHUELA

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...PLANCHUELA

De acuerdo al concepto de **transferencia de carga** cuando se produce un **desplazamiento o fraturamiento** de la masa rocosa, esta ejerce una acción sobre los **accesorios de superficie** ya que se produce un desplazamiento interno que se refleja de forma superficial como **deformación** como se muestra en la figura.



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...PLANCHUELA



LA PERFORMANCE DE UNA PLACA DEPENDE DE FACTORES TALES COMO:

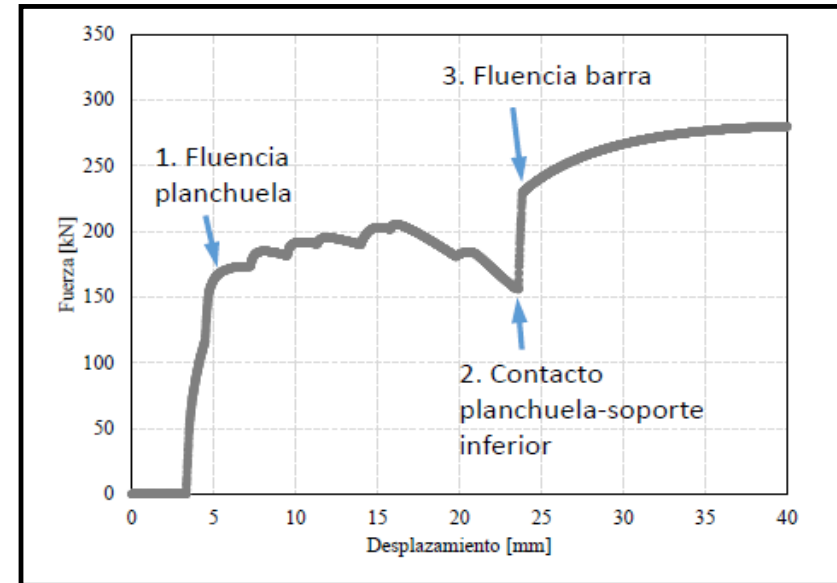
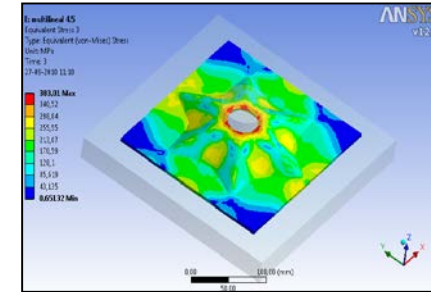
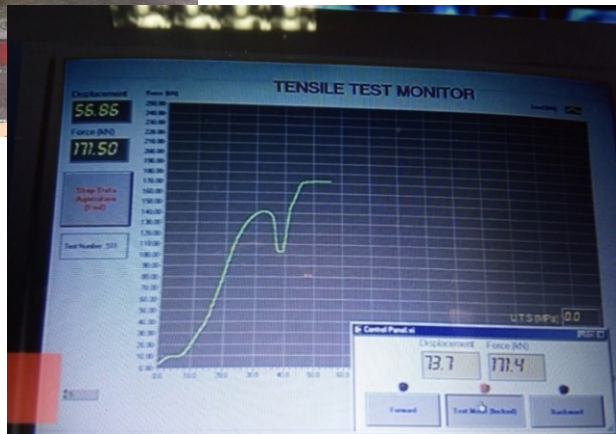
- Capacidad de carga ultima Acero
- Comportamiento Carga / Deformación
- Geometría y rigidez
- Interacción con otros componentes del sistema(tuerca, perno, malla, strap, etc.)
- La interacción con la superficie de la masa rocosa
- Facilidad de instalación.
- Costo de fabricación.

Diseñada para una carga que
**TENGA RELACIÓN CON LA CAPACIDAD
Fluencia o Ruptura del PERNO**

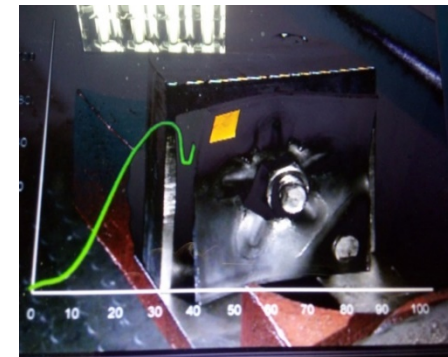
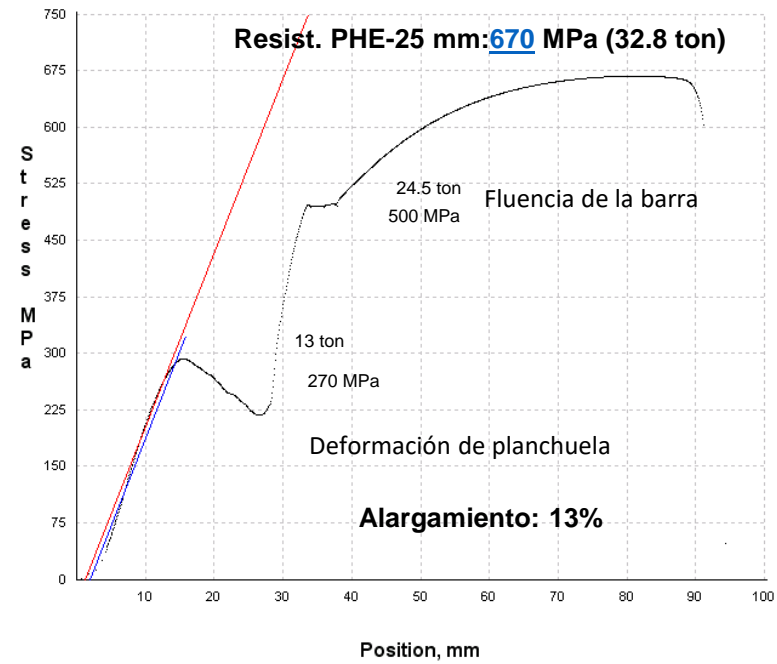
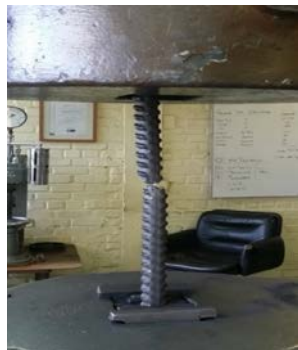
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...PLANCHUELA



- La planchuela debe resistir como carga mínima de deformación, una **SIMILAR AL** limite de fluencia del perno

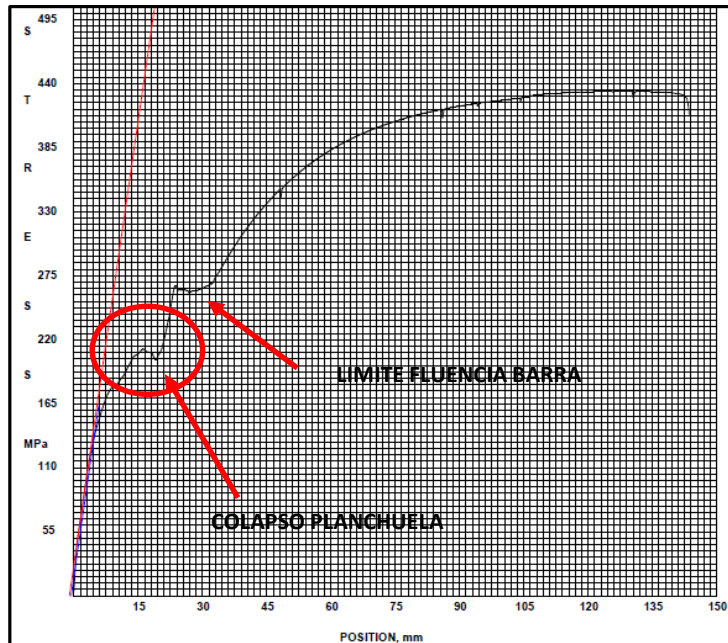


CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...PLANCHUELA

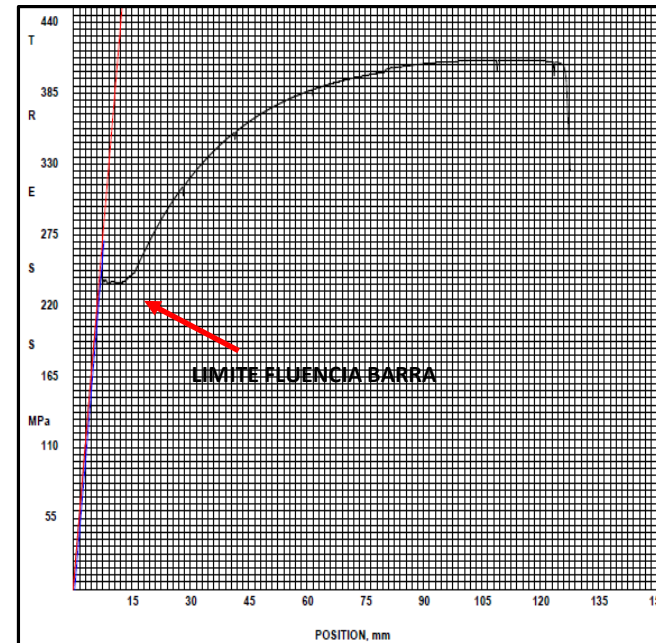


CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...PLANCHUELA

MUESTRA 2.1: Grado 40 / 22 mm
Calidad Acero : **ASTM A 36**
200X200X 6 / HD:18 mm / \varnothing 35 mm



MUESTRA 3.1: Grado 40 / 22 mm
Calidad Acero: **ASTM A 1018 Gr 60**
200X200X6 / HD:28 mm / \varnothing 37 mm





CARACTERISTICAS ACCESORIO - TUERCA

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...TUERCA

DE OBSERVACIONES DE CAMPO POST EVENTO DINAMICO se detectó lo siguiente:

- La tuerca se DESLIZA antes que trabaje el conjunto como sistema.
- No hay TRABAJO de deformación del perno.

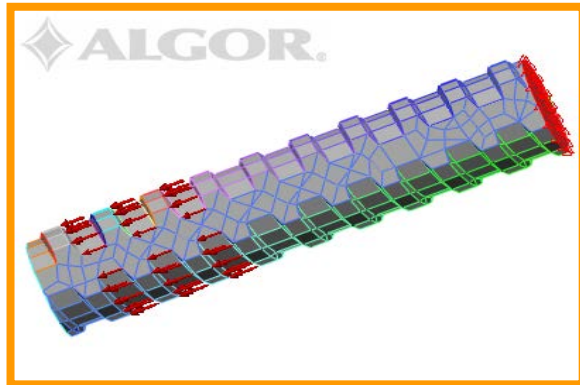
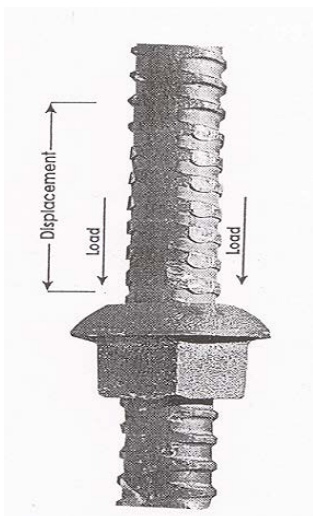


Figura 2.2: Deformación de planchuelas debido a cargas.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...TUERCA



Ensayos : Tracción a conjunto armado, perno y tuerca para fortificación, con determinación de curva tensión deformación.

Resultados : Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la tabla siguiente. En los gráficos adjuntos se entregan las curvas tensión deformación correspondiente a cada probeta

Probeta	Diámetro Nominal mm	Carga de Fluencia (kgf)	Carga Máxima aplicada (kgf)	Alargamiento* L ₀ = 50 mm %
1.1	22	-----	11.930	0,12
2.1	22	-----	13.460	0,20
3.1	22	-----	14.683	-----
4.1	22	-----	14.270	0,08
5.1	22	-----	14.585	0,20
1.2	22	-----	12.644	0,12
2.2	22	-----	12.848	0,16
3.2	22	12.848	14.276	2,00
4.2	22	13.052	13.868	2,20
5.2	22	-----	12.338	0,12

Nota * : Este alargamiento corresponde al máximo que se produce antes de la falla de la probeta.

Falla : Todas las probetas fallaron por cizalle en el hilo del perno.

Santiago 14 de junio de 2000



VICTOR AGUILA OLAVE
Jefe Sección
Investigación y Ensayos de Estructuras

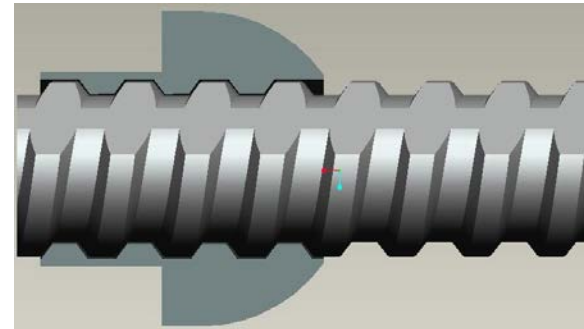
VTF/vtf.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...TUERCA

- Aumenta la superficie de contacto entre el resalte perno y el hilo de la tuerca
- Mayor longitud de la tuerca mas área de contacto



Detalle del efecto en los resalte debido al ensayo de tracción en el conjunto barra-tuerca



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...TUERCA

- Se reemplaza tuerca de **FUNDICIÓN NODULAR** por tuerca de **ACERO FORJADA**
- Se reduce **RIESGO DE FALLA Y PROYECCIÓN**
- Se reduce **DESLIZAMIENTO** de tuerca y **FALLA DE HILO** barra por cizalle
- La tuerca logra alcanzar falla ruptura barra sin deslizar



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA REFUERZO ...TUERCA



- Ensayos : Tracción a conjunto armado, perno y tuerca para fortificación, con determinación de curva tensión deformación.
- Material : Conjunto armado, perno y tuerca, al cual se le modificó la altura del hilo del perno a 2.15 mm.
- Resultados : Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la tabla siguiente. En los gráficos adjuntos se entregan las curvas tensión deformación correspondiente a cada probeta

Probeta	Diámetro Nominal mm	Carga de Fluencia [kgf]	Carga Máxima aplicada [kgf]	Alargamiento $L_0=200$ mm %
1	22	12.236	18.558	20
2	22	12.338	18.151	19
3	22	11.930	17.743	20
4	22	12.134	18.049	24
5	22	13.766	18.354	23
6	22	12.134	18.151	25
7	22	12.236	18.456	23
8	22	12.338	18.864	20
9	22	12.338	17.590	19
10	22	12.236	18.151	22

Falla : Todas las probetas fallaron por rotura del perno.

Santiago, 07 de agosto de 2000

CUG/fgc


VICTOR AGÜILA OLAVE
Jefe Sección
Investigación y Ensayos de Estructuras





DISEÑO ESTABILIZACION PROYECTO NNM DIVISION EL TENIENTE CODELCO

DISEÑO ESTABILIZACION PROYECTO NNM - CODELCO

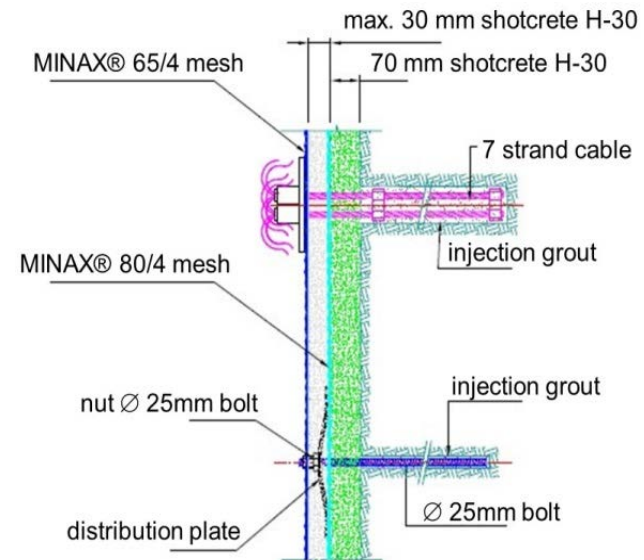
Evento sísmico durante la construcción túnel principal de acceso al Proyecto Nuevo Nivel Mina



DISEÑO ESTABILIZACION PROYECTO NNM - CODELCO

NUEVOS SISTEMAS DE FORTIFICACION EL TENIENTE - NNM

Perno Helicoidal A630-420H	50 KJ
Perno Helicoidal A440-280H	20 KJ
Malla 10006	8-12 KJ
Malla G80/4	12 KJ
Malla G65/40	20 KJ
Cables	12-16 KJ



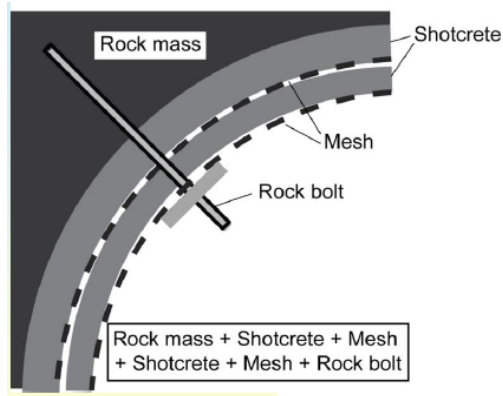
**Ensayos realizados en laboratorio WASM, Curtin University of Technology

DISEÑO ESTABILIZACION PROYECTO NNM - CODELCO

Observaciones de terreno a casos con alta demanda de energía, indican que **LOS SISTEMAS DE FORTIFICACIÓN DEBEN CONTAR CON VARIAS CAPAS QUE INTEGREN COMPONENTES CON ALTA CAPACIDAD DE DISIPAR ENERGÍA.** Por ejemplo

Primero se incluye una capa primaria de shotcrete con espesor de 75 mm **REFORZADO CON MALLA DE ACERO (1770 MPA)**. Este conjunto tiene una capacidad de disipación de aproximadamente 15- 20 kJ/m².

Posteriormente en conjunto se instala un patrón de refuerzo de **PERNOS LECHADOS DE 1X1 M, CON DIÁMETRO DE 25 MM. ELEMENTOS CUYA DISIPACIÓN DE ENERGÍA ALCANZA LOS 50 KJ**



DISEÑO ESTABILIZACION PROYECTO NNM - CODELCO

Riesgo sísmico bajo

Pernos rosca \varnothing 25mm. Acero A63 - 42H, lechado a columna completa, con planchuela y tuerca.

- Largo perno depende de la sección
- Separación entre pernos 1.0 m.
- Separación entre paradas 1.0 m.
- **Malla bizcocho galvanizada 10006**
- Traslape mínimo entre malla 0.30 m
- Shotcrete grado H-30 - 90% N.C. (Resistencia a la compresión a los 28 días 300 kg/cm²), con un espesor final de 7 cm.

Riesgo sísmico moderado

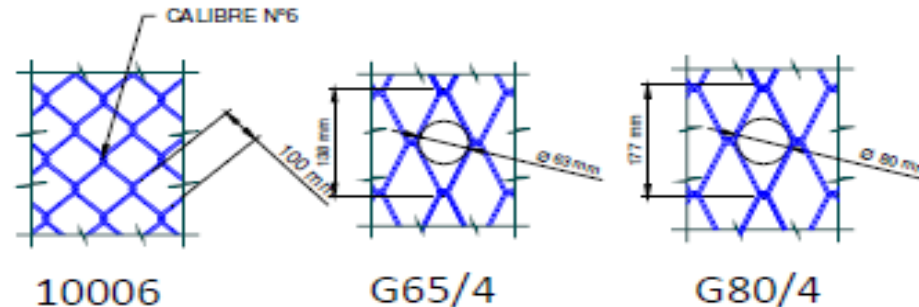
-Pernos rosca \varnothing 25mm. Acero A63 - 42H, lechado a columna completa, con planchuela y tuerca.

- Largo perno depende de la sección
- Separación entre pernos 1.0 m.
- Separación entre paradas 1.0 m.
- **Malla romboidal G65/4**
- Traslape mínimo entre malla 0.30 m.
- Shotcrete grado H-30 - 90% N.C. (Resistencia a la compresión a los 28 días 300 kg/cm²), con un espesor final de 10 cm.

Riesgo sísmico alto

-Pernos rosca \varnothing 25mm. Acero A63 - 42H, lechado a columna completa, con planchuela y tuerca.

- Largo perno 4,0 m (3,85 en roca.)
- Separación entre pernos 1,0 m.
- Separación entre paradas 1,0 m.
- **Malla romboidal G65/4**
- Traslape mínimo entre malla 0,3 m
- Shotcrete grado H-30 -90% N.C. (Resistencia a la compresión a los 28 días 300 kg/cm²),



DISEÑO ESTABILIZACION PROYECTO NNM - CODELCO

INSTALACION MECANIZADA PRIMERA CAPA SISTEMA INTEGRAL EN PROYECTO MINA - EL TENIENTE CODELCO



¡GRACIAS!

