

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE MINERIA**



**Soporte de Labores Subterráneas por Medio  
de Pernos de Roca**

**TESIS**

**para optar el Grado de  
INGENIERO DE MINAS**

**JULIO SOLANO SAEZ**

**PROMOCION " LUIS BRICEÑO ARATA "**

**LIMA - PERU**

**1965**



"SOPORTE DE LABORES SUBTERRANEAS POR MEDIO DE PERNOS DE ROCA"

Pág.

I N D I C E

Pág.

INTRODUCCION . . . . .	5
CAPITULO I.- GENERALIDADES . . . . .	7
1.- Situación y descripción general de la mi na Quiruvilca. . . . .	7
2.- Geología . . . . .	8
A.- Petrología . . . . .	
B.- G. Estructural.	
C.- G. Económica.	
3.- Minería. . . . .	13
A.- Prospección y exploración.	
B.- Preparación.	
C.- Tajeado.	
4.- Causas que originan las caídas de roca. 19	
A.- Voladura.	
B.- Presión de la roca superyacente.	
C.- Esfuerzos de tensión.	
D.- Diferencia de expansión elástica de las rocas.	
E.- Elemento tiempo.	
5.- Reseña histórica del empernado de roca..	23

CAPITULO II.- TEORIAS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PERNOS DE ROCA . . . . .	27
1.- Suspensión de áreas sueltas o fracturadas . . . . .	27
2.- Disminución del pandeo. . . . .	28
3.- Reforzamiento de una abertura distinta al autoestable. . . . .	31
4.- Reforzamiento de una abertura arqueada que requiere soporte. . . . .	32
5.- Reforzamiento contra esfuerzos cortantes y de compresión. . . . .	34
CAPITULO III.- TIPOS DE PERNOS DE ROCA . . . . .	36
1.- Pernos tipo ranurado. . . . .	36
A.- Procedimiento de instalación.	
2.- Pernos tipo expandible. . . . .	39
A.- Procedimiento de instalación.	
3.- Pernos de roca especiales. . . . .	41
A.- De anclaje repartido.	
B.- Varillas de acero sin anclamiento.	
C.- Pernos de madera.	
4.- Especificaciones. . . . .	43
A.- Especificaciones de la varilla.	
B.- Casquillo expandible y tarugo.	
C.- Cuñas para pernos ranurados.	
D.- Planchas o placas de apoyo.	
CAPITULO IV.- ELEMENTOS PARA UN BUEN EMPERNADO. . . . .	47
1.- Anclaje de los pernos. . . . .	47

A.- Fluencia de la roca.	
B.- Perforación del hueco.	
C.- Diseño del casquillo expandible.	
2.- Tensión de los pernos de roca. . . . .	54
A.- Aplicación de la tensión.	
B.- Causas de la pérdida de tensión.	
3.- Disposición de los pernos de roca. . . . .	61
A.- Galerías.	
B.- Tajeos.	
C.- Otras labores.	
4.- Mantenimiento del empernado. . . . .	
A.- Chequeo de la pérdida de tensión.	
B.- Corrección de la pérdida de tensión.	

CAPITULO V.- INTRODUCCION DE LOS PERNOS DE ROCA EN LA MINA QUIRUVILCA. . . . . 71

1.- Ensayos. . . . .	71
A.- Ensayos de los cambios de tensión.	
B.- Características de anclaje.	
2.- Elección del tipo de perno de roca. . . . .	76
3.- Vigilancia de labores empernadas. . . . .	78

CAPITULO VI.- EQUIPOS PARA EL EMPERNADO DE ROCA. . . . . 80

1.- Esenciales. . . . .	80
2.- Accesorios. . . . .	81
3.- Mantenimiento . . . . .	82

CAPITULO VII.-	VENTAJAS DEL EMPERNADO SOBRE EL ENMADE-	
	RADO . . . . .	86
	1.- Generales . . . . .	86
	2.- Economía . . . . .	88
	A.- Galerías.	
	B.- Tajeos.	
CAPITULO VIII.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	91
CAPITULO IX.-	BIBLIOGRAFIA.	96

## I N T R O D U C C I O N

La intención de este trabajo es informar al lector, algunos conocimientos sobre el empernado de roca, en la aplicación puramente minera; porque la reciente implantación de los pernos de roca, sobre todo en el Perú, como medio de sostenimiento de labores subterráneas, trae consigo una modificación o la posibilidad de introducir nuevos métodos de explotación; siempre que prevean ventajas de seguridad, rapidez y economía.

En la mina Quiruvilca, el excesivo costo de la madera, aún más, el difícil abastecimiento, fueron las causas principales, para introducir el empernado de roca como soporte; empleándose durante los primeros años en forma esporádica, como suplemento de la madera cuyo campo fue restringido; sin embargo, actualmente este tipo de sostenimiento se puede considerar un método generalizado, práctico y económico para la producción del mineral dentro del factor seguridad; es así que el consumo promedio es de 6,000 pernos de roca mensual, siendo sostenidas el 80 % de las labores de desarrollo y preparación y 70% de los tajeos por éste medio.

Fundamentalmente el presente trabajo comprende un estudio técnico del empernado de roca en la mina Quiruvilca, sin embargo se ha tratado en lo posible de cumplir con la exigencia respecto a la parte económica, pero llevándose a cabo

sólo en forma aproximada.

Cabe indicar también que el conocimiento de las limitaciones en el sostenimiento por los pernos de roca, es decidido por el método de explotación, y, este por las condiciones del terreno; a su vez este último por las pruebas realizadas en cada lugar de laboreo.

Finalmente la historia del empernado de roca indica una fuerte expansión en el número de aplicaciones, el cual nos demuestra las numerosas ventajas que ofrece, en comparación con la madera.

## CAPITULO I

GENERALIDADES1.- SITUACION Y DESCRIPCION GENERAL DE LA MINA QUIRUVILCA

La Mina Quiruvilca, está situada en el departamento de La Libertad, provincia de Santiago de Chuco, distrito de Quiruvilca. La ubicación según coordenadas geográficas es como sigue: Latitud Sur  $8^{\circ}0'57''$ , Longitud Oeste de Greenwich  $78^{\circ}20'37''$ , cuya altitud varía de 3,500 metros en la parte Oeste, a 4,050 metros en la parte Este de la mina. La mina es accesible por intermedio de una carretera de penetración de 126 Kms. desde Trujillo.

La región tiene un relieve moderado. El clima es de templado a frío, cuyas variaciones de temperatura son de un promedio de  $3.14^{\circ}\text{C}$  como mínimo, y de  $13.11^{\circ}\text{C}$  como máximo.

Probablemente la mina de Quiruvilca haya sido trabajado en forma continua por mas de 160 años, siendo explotadas antiguamente las partes superiores de las vetas como se demuestra por los busconeros que se encuentra. La explotación a gran escala comienza desde la adquisición por la Northern Perú Mining (subsidiaria de la American Smelting and Refining Co.), en el año de 1924, hasta el año de 1931; y de junio de 1940 al presente.

LEYENDA

-  Capital de Departamento
-  Capital de Provincia
-  Capital de Distrito
-  Caserios
-  Ferrocarriles
-  Límites Departamentales
-  Límites Provinciales
-  Carretera Panamericana
-  Carretera Afirmada
-  Carretera Sin Afirmar
-  Minas

CAJAMARCA

OTUZCO

SANTIAGO DE CHUCO

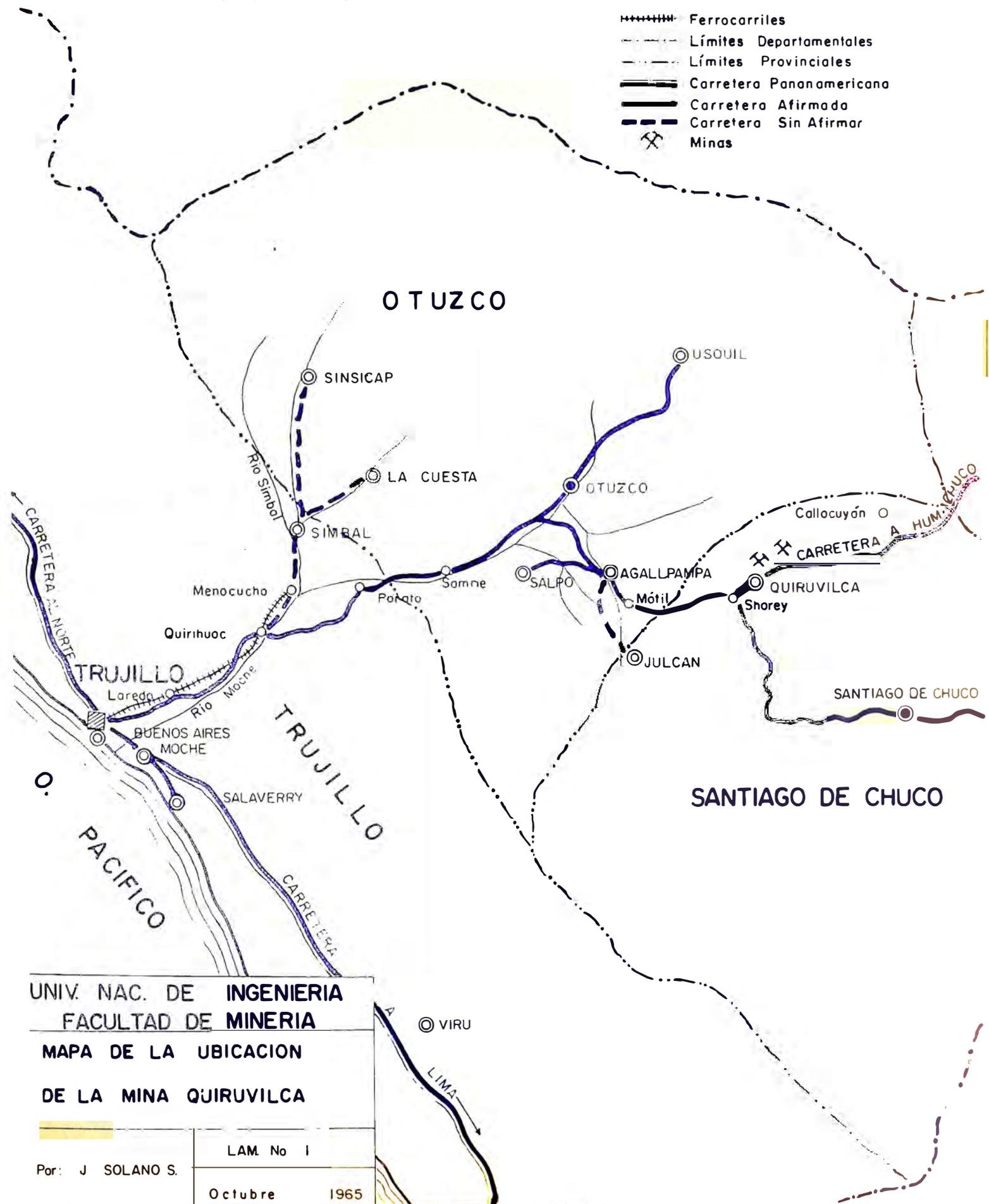
TRUJILLO

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE MINERIA  
 MAPA DE LA UBICACION  
 DE LA MINA QUIRUVILCA

Por: J SOLANO S.

LAM. No 1

Octubre 1965



## 2.- G E O L O G I A

A.- PETROLOGIA.- Quiruvilca geológicamente está constituida en una zona de rocas volcánicas andesíticas y basálticas que forman capas extensas que tienen una posición más o menos horizontal; las cuales han sido intrusionadas por pequeñas inyecciones de andesita e invadidas por numerosas chimeneas de brechas, diques dacíticos y diques de vidrio volcánico que rellenan fracturas pequeñas e irregulares.

En general las rocas que predominan son las igneas, entre las cuales tenemos las volcánicas tales como la andesita (representa el 85% de las igneas), andesita brechosa constituidas por fragmentos andesíticos cementados por andesitas mas modernas, basalto, dacita, diques de vidrio volcánico.

Se observan también en pequeña proporción, las rocas sedimentarias como son los sedimentos lacustres y las pizarras calcáreas alteradas de color negro que se encuentran dentro del área misma de Quiruvilca, y, en la parte Este más o menos a 7 Kms. de la mina se encuentra la arenisca maciza, donde forma un anticlinal y sinclinal asimétricos de rumbo Norte.

Las alteraciones de las rocas volcánicas son moderadas, pero en las zonas de contacto con la veta son bastante intensas y son: la cloritización, piritización, propilitización, silicificación y la caolinización, este último en mayor proporción, especialmente entre las vetas y fallas, y que son indicaciones directas de zonas mineralizadas.

B.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.- En la mina Quiruvilca se tiene vetas como relleno de fracturas y fallas; además existen también fracturas y fallas sin relleno de mineral. En base a éste criterio dividimos a las fracturas y fallas en dos sistemas.

1°) Sistema de pre-mineralización.

2°) Sistema de post-mineralización.

La mayoría de las vetas sulfuradas se encuentran en el primer sistema de pre-mineralización, como relleno de fracturas y fallas de tensión cuyos rumbos están comprendidas en N 60°-70° E y de buzamiento promedio 70°S. . Esta suposición se basa en que el 70% de las fracturas y fallas son ocasionadas por el esfuerzo de tensión según el porcentaje de frecuencias; además las vetas de rumbos N 60°-70°E se caracterizan por tener mayor potencia respecto a otras vetas de rumbo E; sus menas tienen sulfuros cristalizados y ligeramente fracturados. Aún más los contactos entre la mena y las cajas son definidas con poca cantidad de salbanda. Los caballos e hilos de las cajas son comunes dentro de las vetas. Hay vetas con rumbo E que cortan a las anteriores sin desplazamiento alguno, el cual nos indica que probablemente son de la misma época, las cuales también han sido rellenos por solucionar mineralizantes.

El segundo sistema de fracturas y fallas post-minerales es confirmado su existencia, debido a que en él; se obser-

van los espejos de fallas con sus estrías bien (fotog. N° 7); tienen abundante salbanda a lo largo de fallas y fracturas de cortes no mineralizados y mineralizados que nos indica movimientos post-mineralizados, sobre todo en la veta Morococha de rumbo E y buzamiento 75° S. La falla Morococha que es una de las más grandes zonas de corte, ha podido cortar a la mayoría de las vetas formadas dentro de fracturas de tensión de rumbo N60°-70°E, desplazándolos más o menos 60 ms., talés como sucede con las vetas de Elvira, Coquita, Gata, Mascota, etc.

C.- GEOLOGIA ECONOMICA.- Las vetas según su forma, y, asociación y contenido de minerales, son depósitos hidrotermales que están constituídas a partir de soluciones residuales a mediana y baja temperatura.

Las fracturas rellenas total o parcialmente han sido originadas después de la consolidación de la masa ignea.

El contenido de menas de Pb, Zn, Cu, Ag, As, Sb son característicos del alcance hidrotermal, la cual nos indica que se han precipitado a temperaturas comprendidas entre 60°C y 350°C, es decir debajo de la temperatura crítica del agua. La contextura de los depósitos es de forma tabular y bandeada.

Los depósitos son mesotermales y epitermales. Las vetas mesotermales caracterizados por la predominación de menas sulfuradas de cobre, están localizadas en la zona central

del área de la mina, que viene a constituir la zona de la enargita, cuyas temperaturas de deposición de los minerales son de 200°C a 300°C. Las menas epitermales se encuentran en la periferie de la zona anterior donde predomina la gale~~n~~a argentífera y esfalerita, cuyas temperaturas de deposi~~c~~ión están comprendidas entre 50°C y 200°C.

Se pueden distinguir zoneamientos mineralógicos, que se atribuyen a la variación de los factores de deposi~~c~~ión relacionados con la distancia a la fuente de origen de las soluciones. Estos factores o condiciones que prevalecie~~r~~on al momento de la deposición según Mc Kinstry son: Tem~~p~~eratura, presión y la potencia química de las soluciones mi~~n~~eralizantes. Lejos del intrusivo, la temperatura y pre~~s~~ión disminuirían, así como también la potencia química de las soluciones a través de la deposición y reacción con las rocas encajonantes.

Se tiene dudas de zoneamientos verticales, la cual se atribuye a que el desarrollo no ha profundizado lo sufici~~e~~ntemente para mostrar un zoneamiento vertical.

En términos generales, las vetas de la mina Quiru~~v~~ilca presentan un zoneamiento horizontal definido, que se~~g~~ún Richard Lewis está dividido en cuatro zonas distintas del centro a la periferie:

1°) Zona de enargita.- Zona donde predomina la enargita.

Menas: Enargita, pirita, tetrahedrita  
y chalcopirita,

Gangas: Cuarzo y calcita.

2°) Zona de transición.- Zona donde aparece la galena y desaparece la enargita.

Menas: Abundante pirita, esfalerita,  
tetrahedrita y chalcopirita.

Gangas: Calcita y cuarzo.

3°) Zona de plomo y zinc.- Zona donde predomina la galena y la esfalerita.

Menas: Esfalerita, galena, pirita y  
minerales de cobre desaparece.

Gangas: Cuarzo, dolomita, rodocrosita  
y calcita.

4°) Zona de estibina.- Contiene sulfuros de antimonio.

Menas: Galena, blenda, antimonio, arsenopirita, pirita y chalcopirita.

Gangas: Cuarzo y rodocrosita.

PARAGENESIS.- Como el zoneamiento es un concepto que incluye el orden de la deposición de los minerales, es decir los menos solubles se encuentran cerca de la fuente de origen y los más solubles más alejados. Debido a que la paragénesis también es un concepto del orden de la deposición

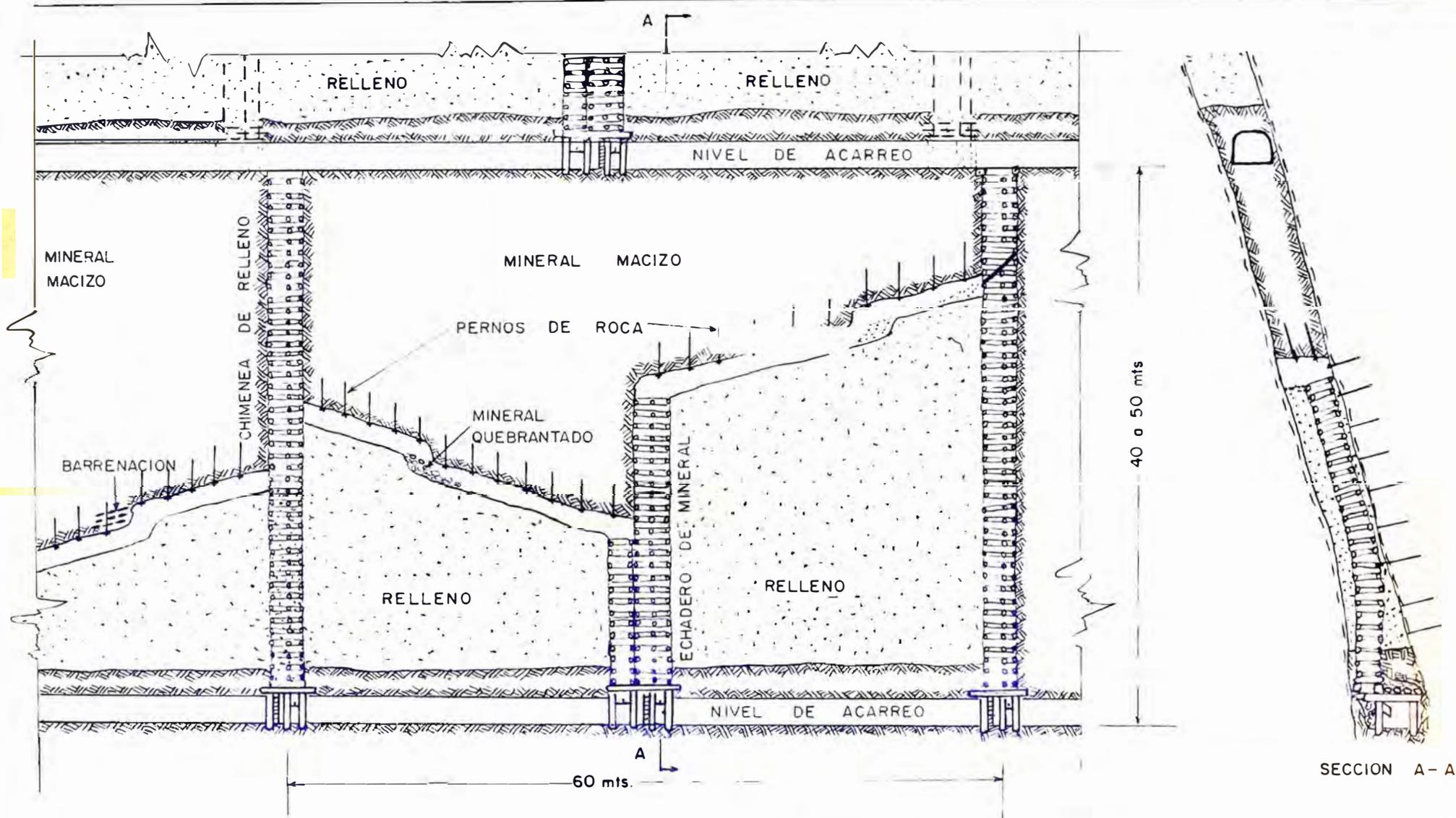
de los minerales, la paragénesis es compatible con el miento.

Richard Lewis hizo un estudio microscópico completo de la secuencia de los minerales de las vetas, además las exposiciones en las vetas subterráneas ofrecen evidencias para deducir las características principales de la paragénesis.

El estudio antes mencionado muestra el orden de la deposición como sigue: Pirita, cuarzo, tetrahedrita, tenantita, arsenopirita, estibina, rodocrosita, pirita N° 2, tetrahedrita N° 2, cuarzo N° 2, estibina N° 2, rodocrosita N° 2.

### 3.- MINERIA

En términos generales la explotación en la mina Quiruvilca consiste en agrupar dos o más niveles de explotación, mediante un nivel principal de extracción que es el 220, situada 300 ms. debajo del cuello del pique Elvira. Actualmente existe tres piques principales; la de Elvira que llega hasta la profundidad del nivel 220, Graciela que llega hasta el nivel 180; y; Almiranta que alcanza al nivel 50, pero éste último se encuentra en comienzos de profundización; las longitudes son: 303,347 y 87.5 metros respectivamente. El pique Almiranta está proyectado para comunicar con el nivel más bajo, que es el nivel 220, que comienza desde el pique Elvira; con el fin de explotar posteriormente las zonas de plomo y zinc. Los niveles intermedios de explotación concurren por



SECCION LONGITUDINAL

SECCION A-A

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE MINERIA

TAJEOS DE CORTE Y RELLENO  
 CON PERNOS DE ROCA

MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. No 2

Octubre 1965

lo menos en uno de los piques. Estos piques están situados en áreas simétricos respecto a cierto grupo de vetas, y sólo sirven para la circulación del personal y el movimiento de materiales, salvo pequeñas excepciones, como sucede con el pique Almiranta, por donde se iza los minerales provenientes de las preparaciones de vetas de plomo y zinc, las cuales son almacenadas en las canchas de la superficie, con la finalidad de no ser mezcladas con los minerales de cobre de actual explotación.

El movimiento del mineral o del desmonte sobrante, entre los niveles de explotación y el nivel principal de extracción se realizan aprovechando la gravedad por intermedio de los echaderos de mineral o de desmonte de sección circular en roca estéril y reforzado a base de concreto con ventanillas cada 10 a 15 ms. de separación.

La mayoría de los niveles de explotación están hechas en forma paralela al rumbo de la veta, es decir fuera de veta.

El nivel principal de extracción ha sido proyectada de tal manera que agrupe en forma simétrica el mayor número de niveles de explotación; y siendo dos las ramificaciones de éste nivel, una de ellas agrupa a los niveles de explotación de las vetas Elvira, N° 2, Sin Nombre, Precisa, etc.; y la otra agrupa a los niveles de explotación de las vetas Coqui-  
ta, Pinta, Napoleón, Santa, etc.

El nivel principal de extracción (nivel 220) está equipada con maquinarias pesadas respecto a los otros niveles, tales como: locomotoras Diessel de 60 y 52 HP y una de batería de 10 HP; que jalan carros de 84 y 40 pies cúbicos; en los frentes se usan palas tipo Eimco 21B. Las líneas son de 40 libras por yarda.

La cantidad de mineral promedio mensual que recibe el molino es de 17,100 toneladas, con una ley promedio de 3.07% de Cu, 3.60 onzas de Ag por Tonelada; cuya planta de flotación se encuentra en Shorey a 5 Kms. al Oeste de la mina. El mineral transportado ocupa un tramo de 2.77 Kms. de la mina al molino.

El agua de la mina que contiene cobre en solución, se recupera mediante las chatarras de hierro por cementación en los pozos existentes en la boca del túnel 220.

La explotación en general comprende tres fases en la mina Quiruvilca y son:

- A.- Prospección y exploración.
- B.- Preparación.
- C.- Tajeado.

Las dos primeras son bastante conocidas, y, sobre todo no ha tenido mayor cambio o influencia por la aplicación de los pernos de roca; pero si el tajeado, por tal razón se pasará por alto las anteriores, haciendo hincapié sólo en el tercero.

### C.- TAJEADO

El tajeado es comenzado a partir del nivel de preparación, dejando un pilar o puente de un promedio de dos metros, esto, en los casos de que no se cuente con una galería en estétíl (lateral); pero generalmente el tajeado se comienza sin dejar ninguna clase de pilar en el nivel de explotación, por la razón de que se tienen galerías laterales a la veta.

Las chimeneas de echadero de mineral se instalan al centro de las chimeneas de relleno o de preparación, que son empleados para dos tajeos adyacentes de treinta metros de largo cada uno.

El método de tajeado aplicado en la mina Quiruvilca es el de conjunto de cuadros con relleno, y, corte y relleno. La reciente implantación, del sistema de pernos, como medio de soporte del terreno, hizo que se hiciera cambios del método de conjunto de cuadros con relleno, a la implantación del método de corte y relleno con pernos; debido a las numerosas ventajas que presenta éste último, lográndose hasta el momento una explotación práctica y económica de los filones, dentro del factor importante de la seguridad requerida.

Puesto que el tajeado por el método de conjunto de cuadros con relleno, y, corte y relleno, son métodos clásicos bastante conocidos; sólo se mencionará los factores que

se tuvo en cuenta para el cambio del método de conjunto de cuadros con relleno al método de corte y relleno con pernos; agrupándose como sigue:

a) Dureza del cuerpo mineral y de las cajas.- La dureza del cuerpo mineral y de las cajas, es una de las primeras características que ha sido estimado, con la finalidad de conseguir el importante factor de seguridad del personal.

En la mayoría de los tajeos se ha demostrado mediante pruebas, que el cuerpo mineral expuesta es duro y frágil, que las cajas; pero después de un período muy corto de tiempo, comienza debilitarse gradualmente formándose tapasones o costras en el alza, según planos de poca resistencia, que en su mayoría con paralelos y horizontales; mientras que las cajas presentan bombeamientos y fracturas, (Ver fotografía N° 13) en tiempos aún menores que en el caso de la veta, siendo dichas fracturas generalmente paralelas al plano de las cajas.

Originalmente el método de sostenimiento empleado ha sido el conjunto de cuadros con relleno, puesto que ofrecía soporte no solamente las cajas, sino también el alza; sin embargo el actual uso de pernos de roca ha sustituido con una mejor efectividad, debido a que las cajas y la veta, ofrecen un anclamiento de los pernos dentro del factor de seguridad, que posteriormente será expuesto.

b) Forma, tamaño y buzamiento del cuerpo mineral.- La introducción del empernado de roca es adecuado para los depósitos filonianos de la mina Quiruvilca, dan mejor apoyo

a las cajas y al alza; la forma tabular de las vetas y sus buzamientos casi verticales proporcionan mayor flexibilidad a las operaciones del empernado de roca, siendo bastante versátil el movimiento del mineral.

En mayoría de las veces el tamaño de la abertura del tajeado es excedido al espacio requerido para formar el arco autoestable; además la forma de los tajeos son cuadriláteros, por lo tanto tienen la tendencia a formar el arco de sustentación; resolviéndose estos problemas mediante la utilización de pernos de roca como soporte.

c) Riesgos que representa el agua ácida.- Uno de los problemas aparentes a la utilización del perno, es también la existencia de agua ácida (sulfato de cobre en solución) que reacciona con el fierro (pernos) formando el cobre; perjudicando de esta manera el soporte del tajeo; sin embargo en la mayoría de los tajeos por suerte no existe circulación del agua, salvo pocas excepciones donde hay pequeñas cantidades de goteras y en forma local.

Se ha realizado pruebas de tensión de los pernos en estos tajeos, y además, la experiencia, nos demuestra que la cantidad de agua nos permite un suficiente soporte temporal, es decir que sólo el 3% de los pernos han tenido falla por acción del agua ácida durante el tiempo que dura el corte completo del tajeado.

#### 4.- CAUSAS QUE ORIGINAN LAS CAIDAS DE ROCA

Las caídas de roca son causadas por el desequilibrio creado, en caso de la minería, puede ser por fuerzas naturales o por los procesos necesarios del trabajo de explotación; produciéndose reajustes gravitacionales alrededor de la excavación, con tendencia de alcanzar el nuevo equilibrio.

Las causas más comunes de aflojamiento y roca suelta que se conocen son:

A.- VOLDADURA.- La dinamitación origina el aflojamiento del perímetro de la abertura, sobre todo donde la estructura de la roca no es firme y dura, causando la caída de la roca.

Debido a la voladura se forman tapazones o aflojamientos de roca, según la orientación de las capas incompetentes, planos de estratificación, fallas y fracturas que primaron antes de que se minara esa masa rocosa; también depende de la composición, carácter físico y resistencia a los esfuerzos cortantes del material.

Para evitar estos aflojamientos del perímetro de la abertura se está realizando prácticas de voladura tipo "smooth cut", obteniéndose hasta el momento resultados más o menos satisfactorios, pero sólo en los frentes.

B.- PRESION DE LA ROCA SUPERYACENTE.- Otra de las causas de las caídas de rocas son las fuerzas creadas por el

peso de la roca superyacente, que según Sth. D. Woodruff; en una abertura subterránea existen fuerzas de tensión y compresión, distribuídas al rededor del perímetro.

Las fuerzas de compresión originan aflojamientos, asentamientos y caídas de roca, cuyo carácter, su extensión y tiempo que tardará en desarrollarse sobre una abertura subterránea, depende de muchos factores, siendo los más impor-  
tantes, el tamaño y forma de la excavación, la profundidad a que está situada la abertura; además el número de capas incopetentes, planos de estratificación, fallas y fracturas, la resistencia a esfuerzos cortantes del material, el carácter físico y composición de la roca.

El Bureau of Mines de los E.U. ha conducido pruebas en modelos de aberturas subterráneas, obteniéndose como resultado la existencia de esfuerzos de tensión horizontal en el techo y piso de la abertura circular y esfuerzos de comprensión en las paredes o lados y que son verticales.

Según interpretación de R. P. Schoemaker sobre los análisis de esfuerzos al rededor de una abertura (A Rievew of Rock Pressure Problemas Nov. 1948) saca la conclusión de que para las rocas homogéneas y libre de planos de mínima re-  
sistencia, la fuerza de tensión de la roca en el techo y fon-  
do de un túnel circular es de 9% del promedio de fuerzas de comprensión existente; lo cual nos indica que la roca de la pared es el que soporta mayor esfuerzo, originada por el peso

de la masa de la roca que se encuentra directamente del tunel circular.

C.- ESFUERZOS DE TENSION.- En toda abertura en el techo y el fondo, ordinariamente, es causado la rotura de la roca por acción de los esfuerzos de tensión, produciendo el efecto de formar un nuevo perímetro de la abertura y traslada de ésta manera los puntos de alta concentración de esfuerzos, a otras nuevas posiciones, y que es un proceso progresivo que depende del tiempo; causando que la roca del perímetro de la abertura se convierta en una masa quebrantada o potencialmente quebrantada.

De acuerdo a Schoemaker la zona principal donde se encuentra el esfuerzo de tensión está mayormente en el techo y fondo de la abertura, y, que depende de la relación de Poisson y es independiente de la profundidad a que se encuentra; de donde bajo condiciones promedio, la zona de tensión se extiende hasta una longitud de  $1/4$  del diámetro de la abertura circular; tanto desde el techo hacia arriba como desde el piso hacia abajo. Aunque la evidencia se mostrará en caso de rocas débiles, siendo mínima en rocas duras.

Como se ha visto que la roca resiste más a la compresión que a la tensión, es por tal razón de que se trata de aprovechar que la roca misma se soporte trabajando por compresión; la cual se consigue induciendo fuerzas de compresiones tangenciales entre las paredes y la roca competente

a moderada profundidad dentro de ella, mediante la utilización de los pernos de roca, distribuidas de tal modo que se reduzca las fuerzas máximas, a una cantidad menor que a la resistencia que pueda ofrecer la roca.

D.- DIFERENCIA DE EXPANSION ELASTICA DE LAS ROCAS.-

Las rocas en general tienen temperaturas y presiones inherentes que fueron creadas durante la historia geológica; pero cuando el hombre hace aberturas subterráneas rompe el equilibrio; causando el efecto de la expansión de la roca ligeramente hacia la abertura, tratando de alcanzar una estabilidad de acuerdo a las nuevas condiciones.

Si la roca es homogénea y competente, esta expansión elástica puede causar explosiones de roca de las cajas o el alza; pero si la roca al rededor de la abertura no es homogénea, tendrá sus planos de esfuerzos mínimos, entonces sucede que no podrá expandirse libremente con la misma intensidad en todas las direcciones. Tampoco el factor inherente de la presión y la temperatura no serán iguales; por lo tanto habrá diferentes puntos del perímetro que tengan distintas intensidades de expansión causando o creando fracturas, fragmentos y lajas sueltas.

E.- ELEMENTO TIEMPO.- Es de suma importancia la consideración del tiempo durante el cual se deja abierto una labor subterránea; porque es una razón común que se dá, para explicar la presencia de roca suelta debido a la intemperiza

ción y acción química.

La circulación del aire, que causa cambios de humedad y temperatura, así como la circulación del agua; se pueden considerar responsable para la afectación de las uniones entre secciones de las rocas, descomponiendo o hinchando la roca, que finalmente fluye hacia el espacio de la galería.

Hay rocas o menas que contienen algunas partes que reaccionan químicamente con el agua y el oxígeno, en las roturas o fisuras, que son disueltas gradualmente a medida que el tiempo transcurre, y son arrastrados por la circulación de las aguas, originando que las rocas se aflojen y se desprendan.

##### 5.- RESEÑA HISTORICA DEL EMPERNADO DE ROCA

Se tiene poco conocimiento de que los pernos de roca hayan sido utilizados, de una forma u otra, desde que la minería empezó.

Muchas minas de los E. U. de Norteamérica, han empezado el uso de pernos en forma ocasional, para solucionar sus problemas de sostenimiento en forma económica, respecto a la madera; desde más o menos 55 años atrás.

Alrededor del año 1920 a 1925, la empresa minera St. Joseph Lead Co. de los E. U., utilizó un tipo de perno semejante al perno de roca actual, en sus operaciones mineras en Southeastern Missouri,

El excesivo costo del sostenimiento con madera, ha sido la causa fundamental, para que en el año 1943, la empresa minera antes mencionado, hiciera un estudio de investigación, sobre la utilización del perno de roca como medio de sostenimiento del terreno, cuyo estudio la realizó W. W. Weizel.

Pero la poca duración del acero, ha sido la causa para que no se avanzara en el desarrollo, en forma considerable, hasta el año de 1947.

En este año (1947) el Bureau of Mines de los E.U., se interesó activamente en el uso de los pernos de roca para sostenimientos subterráneos, poniendo énfasis en el aspecto de la seguridad, llevándose a cabo mayormente en las minas de carbón; empleándose considerable tiempo y gran esfuerzo de investigación, respecto a la aplicación teórica y práctica del empernado de roca. Como resultado se ha observado la utilización valerosa, en las minas norteamericanas de los pernos de roca, en una proporción de cinco a una respecto a la madera.

En muchas compañías, en el período del año 1947 a 1949 entrenaron su propio personal para la investigación del empernado de roca, lo cual dió origen el uso de pernos según las condiciones propias de sus terrenos.

Por el año de 1950, las minas canadienses, ya usaban pernos de roca en forma esporádica; pero de ahí, en ade-

lante se han interesado grandemente, ensayando varios tipos de pernos de roca, con el objeto de obtener el más eficiente respecto a su calidad y la forma más rápida de colocarlos; además han desarrollado programas para el uso de pernos de roca; siendo los primeros pernos investigados los del tipo ranurado con cuña, y en seguida los del tipo expandible.

Durante éste período las minas hicieron sus propios pernos, pero al aumentar la demanda, solicitaron la ayuda de talleres mecánicos.

Las primeras producciones masivas fueron hechos de materiales semejantes, a los hechos en las maestranzas de las minas, de acero de poco contenido de carbón, teniendo una fuerza de tensión aproximadamente de 60,000 libras por pulgada cuadrada, suministrando las siguientes fuerzas de rotura:

Pernos de 1" de diámetro, tipo ranurado con 36,000 libras.

Pernos de 3/4" de diámetro, tipo expandible con 20,000 libras.

Hasta estos años, pasaban de 600 las minas de carbón y del centenar las minas metálicas, que usaban pernos de roca.

En el año 1953 y 1954, los canadienses, llevaron a cabo pruebas completas del empernado de roca, reglamentándose el programa del empernado; posteriormente se comenzó a investigar el aspecto económico de los pernos de roca, para lo cual las empresas mineras suministraban numerosas interrogantes a los fabricantes; es así que se logró obtener pernos de 5/8" y 3/4" de diámetro que remplazó a los de 3/4" y 1" de diámetro

respectivamente, con igual o más fuerza de resistencia.

Lo mismo sucedió con los casquillos expandibles de los pernos, que originalmente eran para huecos de 1 3/8" de diámetro; se logró abastecer casquillos expandibles para huecos de 1 1/4" de diámetro, reduciéndose el costo.

A partir de esta fecha, la introducción del empernado de roca como medio de sostenimiento del terreno (sobre todo en la minería), fue aumentando lentamente, debido posiblemente a que las condiciones del terreno varían grandemente de mina a mina o a una condición de experimentación mal llevada; sin embargo actualmente están resultando provechosas y satisfactorias.

Se tiene un vago conocimiento de la utilización de los pernos de roca en la minería peruana, sin embargo se cree que la Cerro de Pasco haya sido el pionero en la introducción de los pernos de roca, pero sólo en forma esporádica.

En la mina Quiruvilca también se utilizó hace más o menos 6 años pernos ranurados; generalizándose el uso de pernos expandibles desde 1964; es así que actualmente, el consumo alcanza un promedio de 6,000 pernos mensuales, teniéndose proyectado hasta de 8,000 a 10,000 pernos mensuales.

## CAPITULO II

### TEORIAS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PERNOS

#### DE ROCA

La función de los pernos de roca es de lograr que el terreno mismo forme parte integral de la estructura del soporte, o, ejecutar el sostenimiento del terreno afirmándola; preveniendo de la falla o defecto del terreno que ocasionaría la descarga de la energía potencial latente, ó, limitando el movimiento de la roca a través de sus planos de mínima resistencia; consiguiéndose el éxito del soporte, mediante la creación de esfuerzos según el eje del perno.

Las teorías varían y son muchas, respecto al principio del modo de acción, sin embargo mencionaremos tomando como base la experiencia y el análisis teórico acumulado, cinco modos específicos de la acción del perno, que se consideran los más lógicos, con que se puede contar para la exitosa operación con ellos.

#### 1.- SUSPENSION DE AREAS SUELTAS O FRACTURADAS.

En este caso los pernos son usados para asegurar terrenos flojos, donde las rocas sueltas son amarradas o a-fianzadas conjuntamente, mediante el anclaje de un extremo del perno en roca firme y autoestable, y, en el otro extreu

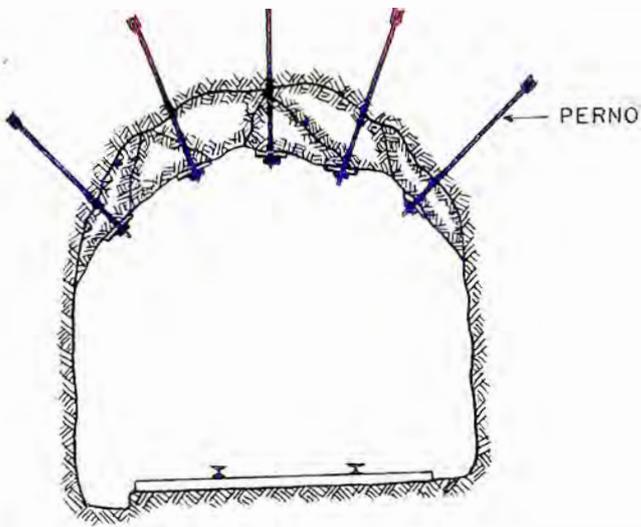


Fig. a

SUSPENSION DE AREAS SUeltas

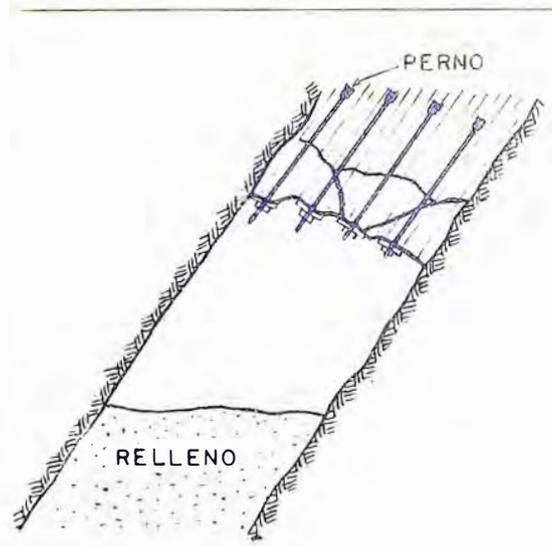


Fig. b



Fig. c

DISMINUCION DEL PANDEO

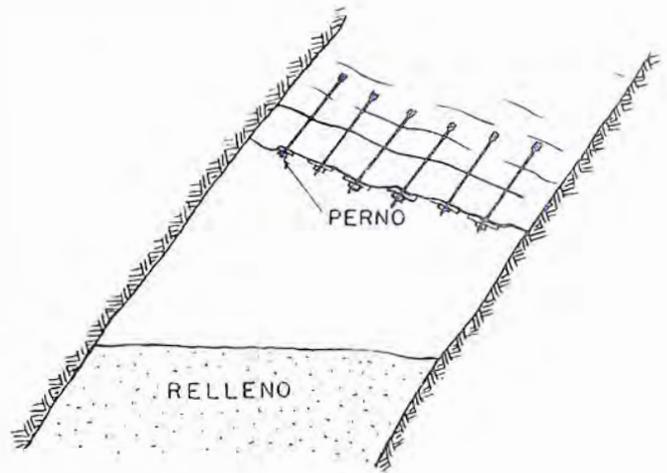


Fig. d

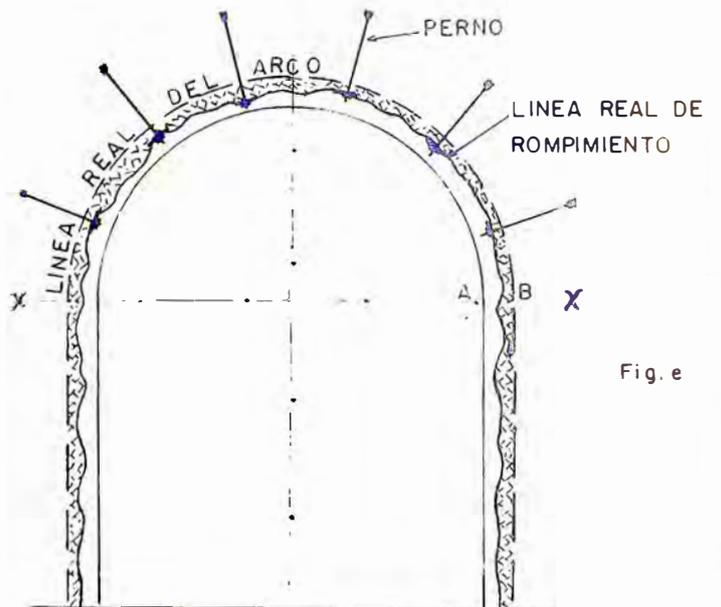


Fig. e

DIAGRAMA DE SOPORTE DE UNA ABERTURA DISTINTA AL AUTOESTABLE

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
FACULTAD DE MINERIA  
TEORIAS DEL COMPORTAMIENTO  
DE LOS PERNOS DE ROCA  
MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. No 3

Octubre 1965

mo la roca suelta se encuentra pendiendo; de esta manera se prevee cualquier nueva caída de la roca. Ver lámina N° 3, fig. a y b.

Puesto que el perno debe soportar toda la carga de los trozos de rocas fracturadas, debe ser de una longitud que alcance suficientemente la roca sólida; además, deben ser fuertes y tener un anclaje adecuado para poder sostener el peso estimado del terreno suelto; según Schumuck, con un factor de seguridad, por lo menos de tres, para compensar la duda del anclaje y carga.

En la mina Quiruvilca se usan pernos de 6 pies para las galerías y el alza de los tejeos, y, de 4 pies para las cajas de los tajos, debido a que las pruebas hechas han demostrado un anclaje suficiente a las longitudes antes mencionadas, y, que dichos pernos tienen suficiente resistencia para soportar el peso de las rocas sueltas que se pueden encontrar pendiendo.

## 2.- DISMINUCION DEL PANDEO.

Cuando se tiene el techo de las labores subterráneas, de consistencia floja o extratificada, y tienen pequeña adhesión entre ellas, éstos tienden a pandearse hacia el espacio libre, ocasionando las fallas de las capas de roca.

Para prevenir este pandeamiento, en especial de rocas estratificadas, es utilizado el perno de roca, cuya

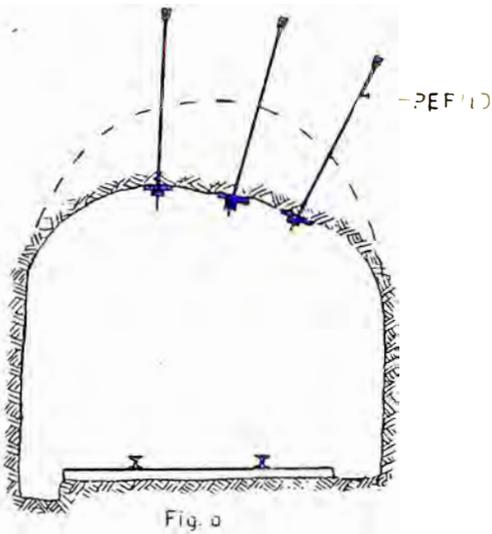


Fig. a

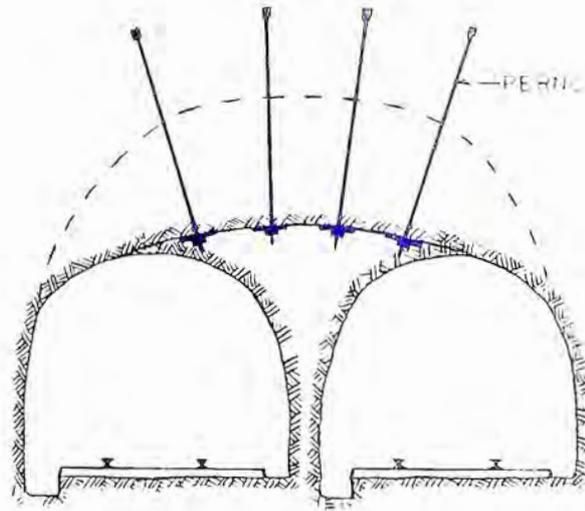


Fig. b

REFORZAMIENTO DE ABERTURAS DISTINTAS AL AUTOESTABLE

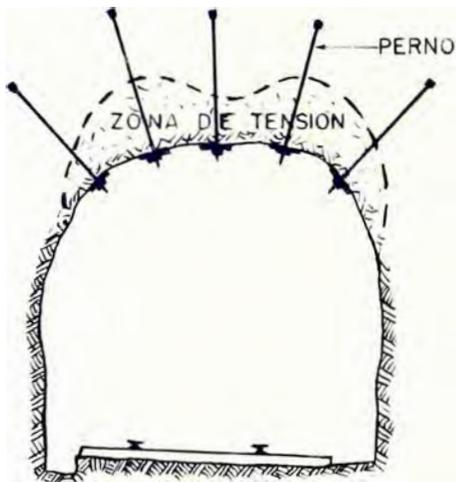


Fig. c

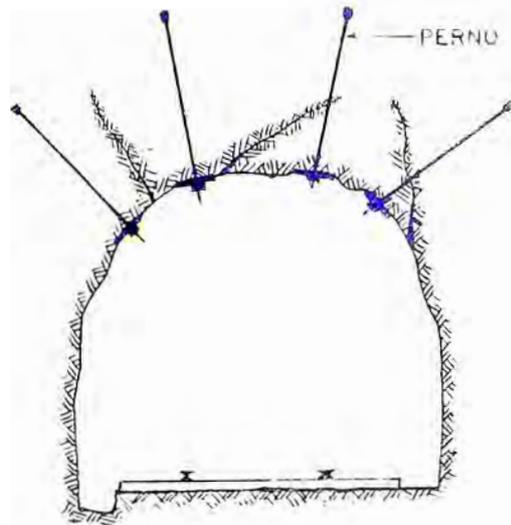


Fig. d

REFORZAMIENTO DE ABERTURAS ARQUEADAS QUE REQUIERE SOPORTE

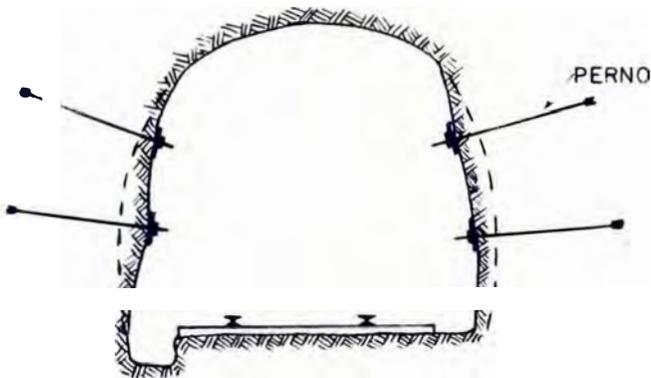


Fig. e

REFORZAMIENTO CONTRA FUERZOS CORTANTES



Fig. f

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
FACULTAD DE MINERIA  
TEORIAS DEL COMPORTAMIENTO  
DE LOS PERNOS DE ROCA  
MINA QUIRUVILCA

Por: J. S. L. N. S.

LAM N 4

Octubre

propiedad es de aumentar la rigidez y solidarizar las rocas estratificadas entre sí, amarrándolas o afianzándolas unas a las otras, de manera que actúen conjuntamente como una sola viga y no como si fuera una serie de vigas separadas; capaz de soportarse por sí mismos a través de la abertura; cuya fuerza de resistencia al pando y separación es superior que a las capas individuales.

En otras palabras la función del perno de roca es aumentar la fricción en los planos de estratificación o de las capas, con el fin de evitar el movimiento a través de los planos de mínima resistencia, por lo tanto reducirá también las presiones laterales.

En lo que se refiere a la mina Quiruvilca, se usa pernos de roca como soportes temporales en el alza de los tajeos, en vetas casi verticales, donde existe la tendencia a descostrarse la roca del techo, en forma de capas casi horizontales, como se puede observar en la lámina N° 3, fig. d y las fotografías N° 14 y 16.

Los trabajos de laboratorio llevados a cabo por L.A. Panek, miembro del Bureau of Mines de los E.U.; en octubre de 1,955; utilizando modelos de rocas estratificadas; las cuales fueron rotadas en una centrifugadora para inducir una fuerza centrífuga proporcional a la fuerza gravitacional, siendo el material caliza de Indiana (los resultados enteramente, son independientes del tipo de roca usado),

se han obtenido las siguientes conclusiones:

A) La flexión de una viga desempernada fue debido al resbalamiento, a lo largo de las superficies de contacto de las capas o láminas.

B) Por el uso de pernos de roca tensionados, ha sido disminuído la flexión de la viga y por consiguiente el deslizamiento de los planos de contacto.

C) La flexión no fue disminuido cuando se colocó pernos sin tensión, a pesar que el diámetro del perno fue igual al del hueco.

D) Aunque el desplazamiento de los planos de contacto y la flexión fueron disminuidos, por el uso de los pernos tensionados; pero no fue posible prevenir enteramente el pandeo del conjunto que forma la unidad empernada, comparada en relación de una viga sólida de igual grosor y carga.

E) Cuanto más grande sea la tensión del perno, mayor será la flexión disminuida.

En la lámina N° 5 se muestra una comparación de pandeos de un techo, sostenida por pernos y madera. Ha sido tomada de un artículo publicado por la Mineral Industrial Journal of the Virginia Polytechnic Institute; en la cual se puede observar, la línea baja, que indica el pandeo de una alza soportado por pernos de roca, cuya deformación inicial tiende a ser estabilizado; y la línea superior indica el pandeo del alza como resultado del uso de enmaderado, la cual continúa

aumentando con el tiempo, porque la roca tiene mayor esfuerzo de compresión que cualquier madera.

### 3.- REFORZAMIENTO DE UNA ABERTURA DISTINTA AL AUTOESTABLE

En la práctica no se puede obtener una abertura exactamente como del arco autoestable del terreno; en realidad la forma de aberturas son irregulares aunque se tenga tendencia de realizarlo en forma circular como sucede en las galerías; o también, como en el caso de aberturas de tajeos, según la necesidad convencional de los métodos de excavación. Estas irregularidades son generalmente ocasionadas por la dinamitación, u otro factor, que originan fracturas de agrietamiento que se extiende hasta el alza y las cajas.

Así en la mina Quiruvilca, una excavación hecha para tajar (forma cuadrilátera), tiene más probabilidades de necesitar soporte, que una abertura casi circular de un túnel o galería en el mismo terreno, las cuales han sido demostradas por la experiencia general de la minería y también por los análisis teóricos.

Observando la lámina N° 3, fig. c en una galería, si la roca fuera lo suficientemente dura como para soportar la sobrecarga, y, si fuera posible una voladura que produjera una abertura exactamente según el arco autoestable (línea A); no requeriría dicha abertura ningún soporte artificial; (considerando solamente el arco comprendida a partir de la línea X-X).

Sin embargo se puede observar que la línea real de rompimiento es completamente diferente e irregular, presentada en la superficie de la abertura. Esta irregularidad, trasladada a la línea del arco autoestable original, más al exterior, tal como la línea B. lo cual es considerado la línea real del arco autoestable.

La masa de roca irregular (parte sombreada), comprendida entre las líneas A y B, deberán ser soportadas, por la sencilla razón de que la abertura real e irregular, tiende a adquirir la forma según la línea real del arco autoestable.

Esta clase de aberturas son sostenidas con pernos, cuya longitud según O'Learly, V.D. y Pollish, Lloyd; debe ser por lo menos, de dos veces la distancia que existe entre la línea A y B.

Los pernos actúan suministrando compresión a las rocas sobresalientes a partir de la línea real del arco, preveniendo de esta manera la separación o rotura de las costras, y forma un bloque consolidado y rígido; además evita los ataques de la humedad y el aire entre las fracturas.

#### 4.- REFORZAMIENTO DE UNA ABERTURA ARQUEADA QUE REQUIERE SOPORTE

Suponiendo que se haya conseguido una abertura más

o menos circular, que cubra la línea real del arco autoestable; pero por lo general la mayoría de las veces la roca no tiene la suficiente fuerza inherente para resistir el peso de las rocas superyacentes.

El peso de la roca superyacente, origina diferentes esfuerzos alrededor de la abertura, siendo las principales, la de compresión y tensión; debido a éste último esfuerzo es que generalmente el terreno falla, por la razón de que las rocas resisten mal a la tensión que a la compresión.

La intensidad de los esfuerzos de tensión, es seguro, que dentro de una relativamente corta distancia de la superficie del alza de la abertura desaparecerá, encontrándose la roca sometida sólo a esfuerzos de compresión; y cuando mucho, bajo pequeñas intensidades de esfuerzos de tensión.

El tamaño de la zona de tensión (techo), donde la roca generalmente resiste mal, depende de muchos factores variables y puede determinarse para cada situación; siendo los siguientes, algunos de los factores característicos: tamaño, forma, resistencia, rigidez y la escabrosidad de la superficie.

En rocas homogéneas libre de planos de mínima resistencia según Schoemake, ordinariamente la zona de tensión se extiende a  $1/4$  del diámetro de la abertura circular, encima de la cual la roca actúa bajo compresión y se crea un au-

tosoporte.

La longitud de pernos que se recomienda para evitar la falla y el anclamiento en la zona de tensión, según Sth D. Woodruff, es de  $2/3$  partes del diámetro de la abertura, cuyo factor de seguridad de anclamiento en la zona de compresión es aproximadamente de tres.

#### 5.- REFORZAMIENTO CONTRA ESFUERZOS CORTANTES Y DE COMPRESION

En una abertura de gran peso de rocas superyacentes, donde las presiones verticales son fuertes; producirán descostramiento de las capas o paredes de las galerías o tajos, éstas son las zonas donde se concentran los esfuerzos de compresión, y que ocasionan fallas, las cuales son compensados por las presiones laterales horizontales, originadas por los pernos de roca tensionados, impidiendo en forma efectiva, el aflojamiento o deslizamiento de las rocas de la capa en sentido descendente, con movimiento vertical. (Ver lámina N° 4 Figs. c y f, y fotografía N° 13).

Los pernos de las capas o paredes deben ser suficientemente tensionados, que ofrezcan resistencia, para limitar o evitar los movimientos verticales de los bloques.

Si los pernos de roca no están tensionados lo suficiente, es posible que la carga de las paredes o capas, no se consideren estáticas; la tierra comenzará a moverse, ocasionando el quebrantamiento de la roca, por lo tanto, en és

ta situación los pernos comenzarán a trabajar ofreciendo resistencia a los esfuerzos cortantes, y que es perjudicial porque el perno resiste mucho menos al corte que a la tensión.

Esta clase de deslizamientos verticales en la mina Quiruvilca, se presenta especialmente en la caja cerro de los tajeos, que ocasionan el aflojamiento de la veta; sin embargo se logró evitar mediante el uso de los pernos de roca.

## CAPITULO III

### TIPOS DE PERNOS DE ROCA

En la lámina N° 6 es mostrado los tres tipos fundamentales de pernos de roca, y que más comunmente se utiliza en las operaciones de la minería; diferenciándose uno de otros, principalmente por el diseño de la parte que suministra el anclamiento, y son: ranurados, expandibles y especiales.

#### 1.- PERNOS TIPO RANURADO

Entre los pernos de acero, éste tipo ha sido el más popular, cuando recién se introducía el empernado de roca como medio de sostenimiento en la minería, particularmente en la mina Quiruvilca.

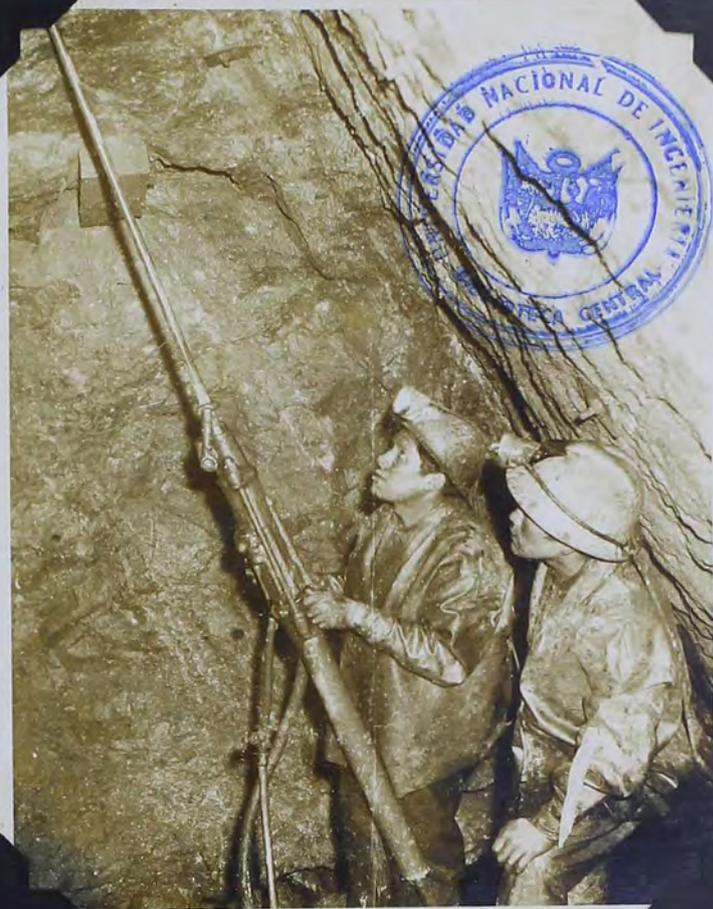
El perno común consiste de una varilla, ranurada en uno de sus extremos, y siendo roscado el otro terminal del perno. Además como partes complementarias, tenemos una cuña que va en el extremo ranurado, y, una plancha y tuerca que va en el terminal roscado.

El anclamiento se consigue por medio de impulsos de percusión en el terminal roscado, produciéndose la bifurcación del extremo ranurado sobre una cuña y las paredes al perno, es aplicada por medio del giro de la tuerca sobre el



Fot. N°1

Casquillo: Afianzamiento y estandard



Fot. N°2

Perforación para pernos



Fot. N°3

Ajustando el perno  
la llave "cachimbada"

Fot. N°3

terminal roscado, estrechándose una plancha contra la superficie de apoyo de la roca.

#### A) Procedimientos de instalación

Los procedimientos seguidos en la instalación de pernos ranurados son:

a) La perforación de un hueco de  $1\ 1/4''$  ó  $1\ 3/8''$  de diámetro, y rara vez de  $1\ 1/2''$ , cuya profundidad es variable según la longitud del perno; por lo tanto tienen que ser medido mediante la introducción del perno sin cuña dentro del hueco.

La perforación debe ser de tal modo, que la mitad de la parte terminal con hilos se encuentre fuera y la otra mitad dentro del hueco, cuando el perno sin cuña descansa en el fondo del hueco.

Las profundidades típicas de los huecos, para el empernado de roca, con bulones ranurados son:

Para pernos de  $4''$  una profundidad de  $45''$ .

Para pernos de  $6''$  una profundidad de  $69''$ .

Para pernos de  $8''$  una profundidad de  $93''$ .

Sin embargo la mejor manera para adoptar la profundidad de hueco, es, observando las características del anclamiento, en unos cuantos pernos instalados, en una determinada clase de roca.

La dirección del hueco, en lo posible debe ser perpendicular a la cara de la roca donde se va colocar.

b) Una vez que se tiene la perforación, se inserta la cuña en la ranura del perno y se introduce el conjunto al hueco.

En seguida se impulsa el perno mediante el uso de un equipo neumático de perforación ó de cualquier herramienta que permita suministrar la percusión tal como un martillo o comba.

En el caso de la utilización del equipo neumático de perforación, se emplea un acoplador (lámina N° 14 Fig. c) que se atornilla en el extremo roscado del perno; y la máquina trasmite la percusión por el otro extremo del acoplador, hasta que el perno no indique movimiento longitudinal.

c) Una vez que el perno se encuentre anclado, se desentornilla el acoplador (en el caso del uso de la máquina perforadora como medio de percusión), quedando libre el extremo roscado del perno; en seguida se inserta en éste, una plancha contra la roca, y, luego se enrosca una tuerca exagonal. Muchas veces entre la plancha y la roca es colocada un cabezal de madera o hecho de rieles usados, como puede observarse en la mina Quiruvilca según las fotografías N° 11, 13, 16 y 17.

d) La tuerca es apretada hasta un torque determinado, mediante una máquina neumática de torsión graduada ó también mediante una llave manuable de torsión (llave "cachimba"), como se muestra en las fotografías N° 3 y 5 res

pectivamente, las cuales son utilizados en la mina Quiruvil

El torque a que está sometido los pernos, se puede chequear con el uso de una llave de torsión graduada (fotografía N° 20), para ver la medida del torque deseado, además observar si el perno está verdaderamente anclado.

La experiencia general indica aproximadamente, que cuando la plancha comienza a encorvarse ligeramente, por la presión aplicada, nos indica que el perno se encuentra con el torque suficiente.

## 2.- PERNOS TIPO EXPANDIBLE

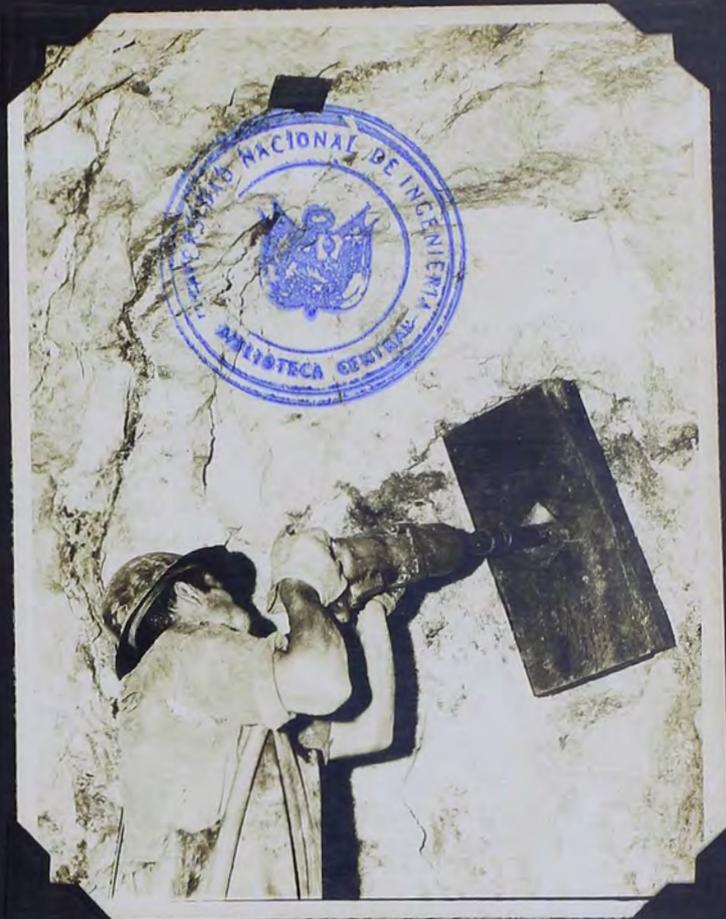
Consiste de una varilla cilíndrica, que puede ser filiteado en ambos terminales ó aquellos provistos de una cabeza cuadrada en uno de los extremos y filiteado en el otro. Ambos tipos de pernos son utilizados en las operaciones mineras de Quiruvilca; siendo el último de reciente introducción.

Como se puede observar en la lámina N° 6 Figs b y d, existen numerosos modelos de pernos tipo expandible, según el diseño del casquillo y la cuña.

El anclamiento se obtiene por rotación de una tuerca (varilla filiteada en ambos terminales) o de la cabeza cuadrada del perno (varillas de un solo terminal filiteado); luego de insertar el perno en el hueco, con su respec-



Fot. N° 4  
Introduciendo el perno



Fot. N° 5  
Ajustando con la empernadora



Fot. N° 6  
Influencia de la humedad  
en el perno

Fot. N° 6

tivo casquillo expandible y cuña, colocado en el extremo fi  
liteado.

El casquillo se expande al tirar la varilla hacia afuerca; por enroscamiento de la tuerca en el perno, o del perno con cabeza cuadrada en la tuerca tipo cuña, que se encuentra en el fondo del hueco. Este procedimiento hace que se asienten las hojas del casquillo expandible, en la pared del hueco perforado.

#### A.- Procedimientos de instalación

El procedimiento de instalación de éste tipo de pernos, es bastante semejante al tipo de pernos ranurados ya mencionados; diferenciándose en algunos puntos; y son:

a) Perforación de un hueco de  $1 \frac{1}{4}$ " ó  $1 \frac{3}{8}$ " de diámetro. cuya longitud es variable; no interesa que sea exactamente dimensionado para un determinado perno, como sucede en el caso de los pernos ranurados; sino la longitud debe ser por lo menos igual o mayor que la longitud del perno de roca utilizado, puesto que no se necesita que el casquillo expandible se encuentre en el fondo mismo del hueco, para su anclamiento.

La dirección de la perforación debe ser en lo posible perpendicular a la superficie de la roca; cuyos motivos de insistencia en este punto se dará a conocer posteriormente.

b) La introducción en el agujero del perno de roca;

con su casquillo y su respectiva tuerca tipo cuña en el fondo del hueco, quedando fuera el otro extremo del perno, la cual lleva una plancha y su respectiva tuerca exagonal; o sin dicha tuerca, como sucede en caso de pernos con cabeza cuadrada.

c) La tuerca enroscada en el perno o la cabeza cuadrada de la varilla, que se encuentra fuera del hueco; es apretada mediante una llave "cachimba", ó una máquina empernadora (Fotografía N° 3 y 5), hasta obtener un torque deseado, según condiciones de anclamiento del terreno.

### 3.- PERNOS DE ROCA ESPECIALES

Estos tipos especiales de pernos, no son utilizadas bajo ninguna forma en la mina Quiruvilca; sin embargo se tiene conocimiento del uso, en otras empresas mineras ó en construcciones de túneles.

Los principales tipos se puede observar en la lámina N° 6 y siendo las siguientes:

A) Pernos de anclaje repartido.- El cemento especial (mortero líquido) es inyectado en el hueco por medio de una pistola de enlechado (jeringa); se introduce el perno, en seguida es taponeado el hueco en el cuello (tapón de sílice) con el fin de retener el mortero líquido; además en el hueco perforado se ha introducido antes que el perno un tubo delgado para la extracción del aire.

Si no se tiene la pistola de enlechado (jeringa), el anclaje se realiza mediante la introducción del perno en el hueco, en cuyo fondo se encuentra un recipiente frágil (cristal) que contiene una mezcla que endurece al frío, al ser roto por el perno.

Una variante es que en algunas minas de Europa, donde se requiere un apoyo mayor del alza, se hace una especie de costura, utilizando cables de acero usados de 1/2" de diámetro, en vez de los pernos.

Otro procedimiento es el llamado Perfo (lámina N° 6) que consiste en insertar un cilindro perforado en los lados, conteniendo mortero líquido. Enseguida la varilla del perno es introducido activamente (con fuerza) dentro del tubo, cuyo mortero contenido es expulsado del cilindro por intermedio de los agujeros, para rellenar el hueco perforado y además las grietas o poros de las rocas.

Las ventajas de este procedimiento son:

- a) Longitud entera soporta el terreno.
  - b) Circulación de aire húmedo es **eliminado** en el hueco.
  - c) Puede ser aplicado en roca blanda y con **rajaduras**.
  - d) Requiere menor uniformidad en el diámetro del hueco perforado.
- B) Varillas de acero sin anclamiento.- Estos son,

otros tipos de pernos especiales considerados, y se utilizan generalmente para reforzar el fallamiento de pilares, atravezándolo de un lado al otro; por lo tanto desaparece el anclamiento del perno.

C) Pernos de madera.- La aplicación de pernos de madera como soporte, son limitados a problemas marginales del terreno. Tienen ranuras en ambos extremos, las cuales hacen un ángulo de 90° una de la otra; cuyo anclamiento se obtiene mediante la percusión aplicada sobre cuñas de madera situadas en las ranuras; ó también se puede usar solamente una cuña en el extremo ranurado situada al fondo del hueco, y, en el otro extremo sin ranura actúa un tornillo que llena todo el agujero que ha sido perforado.

#### 4. - ESPECIFICACIONES

Los pernos de roca y sus accesorios en general, están de acuerdo a las especificaciones de las normas americanas, para materiales de empernado de roca, recomendados por el Congreso Americano de Mineros.

Estas especificaciones comprenden todo el conjunto de material de empernación, cuyo propósito, son los siguientes:

a.- Asegurar al consumidor de que los materiales del empernado de roca, estén hechas con ciertas recomendaciones, pertinentes a la calidad y a las dimensiones míni-

mas requeridas; debido a que se trata de asegurar, mediante la efectividad de los materiales, la vida de los trabajadores mineros. Es decir evitar que los materiales estén sometidos más allá de su límite de seguridad.

b.- Obtener una uniformidad de los productos, sin afectar por su puesto a su mejoramiento de la calidad y diseño, con el propósito de establecer la práctica de intercambiar.

#### A.- Especificaciones de la varilla

Todo perno de roca deben ser hechos de aceros al hngar abierto ó acero de horno eléctrico, según especificaciones para barras de acero al carbono, sujetas a propiedades mecánicas, designadas conforme a los requisitos de la ASTM: A-306 (agosto 1, 1957).

a.- Propiedades de tensión.- Las barras o varillas, con la que se hacen los pernos de roca, deben tener las siguientes propiedades de tensión:

Grado	Carga mín. de rotura	Carga mín. del límite elástico
	Libs/pulg <sup>2</sup>	Libs/pulg <sup>2</sup>
Pernos de regular resistencia.	60,000	30,000 mín.
Pernos de alta resistencia.	80,000	40,000 mín.

b.- Dimensiones del perno.- Como se puede observar en la lámina N° 7, las longitudes de los pernos de roca son variables; cuyos diámetros son de  $5/8''$   $3/4''$  cuando se trata de pernos tipo expandible, y,  $1''$  de diámetro en caso de pernos ranurados.

c.- Roscas.- Todas las roscas en los terminales de los pernos tipo expandible, son aceptados con once hilos) por cada pulgada de longitud; y, los de tipo ranurado, de ocho hilos por cada pulgada.

#### B.- Casquillo expandible y tarugo

Estos elementos son usados solamente en pernos tipo expandible, y son hechos conforme a los requisitos de las especificaciones de la ASTM: A-47, para fierro fundido maleable (agosto 1,957); grado 32510; ó, deben ser de acero forjado con un contenido máximo de azufre de 0.23 por ciento.

#### C.- Cuñas de pernos ranurados

Las cuñas pueden ser fabricados de acero al hogar abierto ó acero de horno eléctrico; de conformidad a las especificaciones designadas por la ASTM: A-306; ó también pueden ser hechas de fierro fundido maleable, conforme a los requerimientos de la ASTM: A-47; grado 32510.

Las dimensiones de la cuña, de forma biselada son:

Altura o longitud :  $5\ 1/2''$  mínimo, y  $6''$  máximo.

Ancho :  $3/4''$

Fig. a

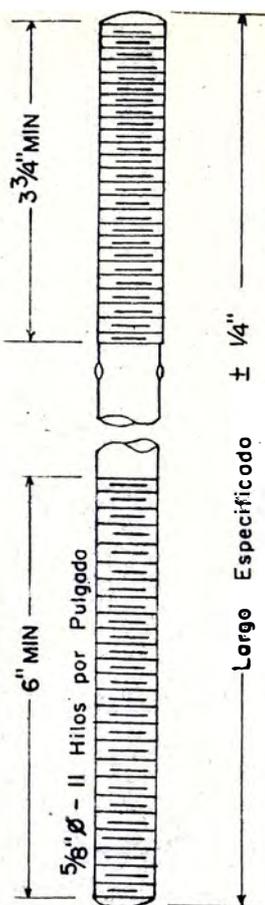


Fig. b

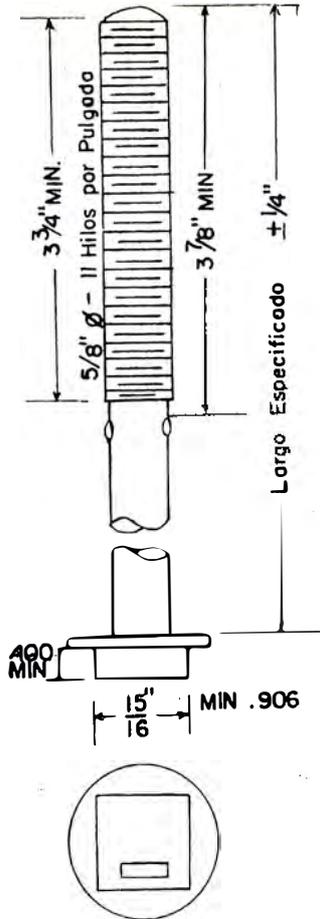


Fig. c

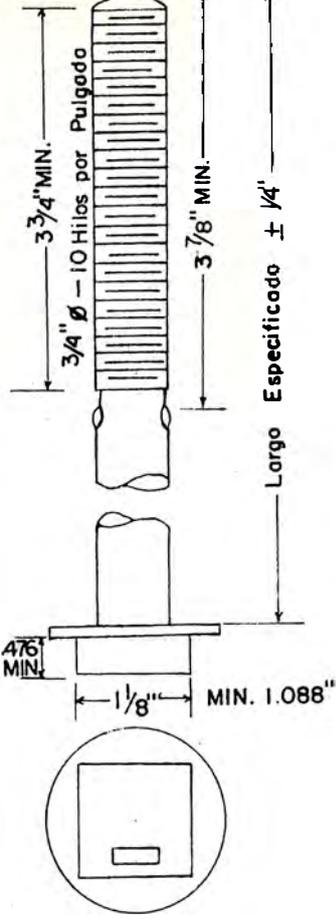
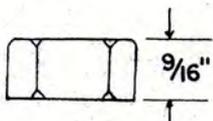
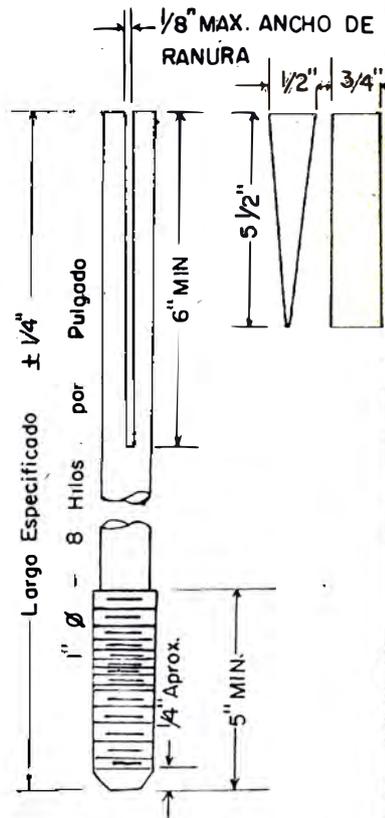


Fig. d



PROPIEDADES DE TENSION

	CARGA MIN. DEL LIMITE ELASTICO LIBS./PULG <sup>2</sup>	CARGA MIN. DE ROTURA LIBS./PULG <sup>2</sup>
REGULAR RESISTENCIA	30,000	60,000
ALTA RESISTENCIA	40,000	80,000

Fig. a.- Perno de Roco de 5/8" Ø Con ombos terminales fileteados

Fig. b.- Perno de Roco de 5/8" Ø Con cobezo cuadrado

Fig. c.- Perno de Roco de 3/4" Ø Con cobezo cuadrado

Fig. d.- Perno de Roco de 1" Ø Ranurado

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
FACULTAD DE MINERIA

DIMENSIONES BASICAS DE PERNOS  
EXPANDIBLES Y RANURADO

MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. No 7

Octubre 1965

· Espesor de la base :  $3/4''$ ,  $7/8''$  ó  $1''$ ; la cual termina en un filo tipo cincel, cuyo vértice es de  $1/16''$  de grosor máximo (lámina N° 7 ).

D. - Planchas o placas de apoyo

El acero con que se fabrican las planchas, deben ser de acero al hogar abierto ó acero de horno eléctrico.

Si se usa acero Bessener, el contenido de carbono debe ser 0.15% máximo, y el contenido de manganeso 1.00% máximo.

El grosor de las planchas es opcional, lo mismo sucede con el resto de las dimensiones; utilizándose en Quiruvilca planchas de  $1/4''$  x  $4''$  x  $4''$ . Es decir que el tamaño depende <sup>de</sup> la naturaleza de la superficie, y pueden ser de forma cuadrada las cuales se usan generalmente donde la superficie soportada es relativamente plana; y, las de forma triangular ( usualmente de  $8''$  de lado) es usado principalmente donde la superficie de la roca es desigual.

## CAPITULO IV

### ELEMENTOS PARA UN BUEN EMPERNADO

Los elementos que hacen falta, para una buena acción del empernado de roca son: el anclaje, disposición, tensión, programa y mantenimiento del empernado de roca.

#### 1.- ANCLAJE DE LOS PERNOS DE ROCA

Para que un sostenimiento de labores subterráneas, sea exitosa, es fundamental la eficiencia del anclaje de los pernos de roca.

Tratándose de pernos tipo ranurado, el anclaje se consigue por martilleo en uno de los extremos, y son bastante satisfactorios en las rocas de dureza media; lo que quiere decir que el mayor problema radica en la naturaleza de la roca que se desea empernar; es así, que en rocas blandas la cuña que se encuentra insertada en la ranura del perno se hunden conjuntamente con la varilla, al ser martilleado; y, en las rocas duras no anclan suficientemente, limitándose la aplicabilidad de esta clase de pernos a las condiciones del terreno. A parte de estos problemas, no presentan mayores problemas técnicos, salvo que la longitud del agujero debe estar convenientemente adaptada al cuerpo del perno.

Respecto al anclaje de los pernos de roca especia-

les, de anclaje repartido (pernos con mortero), son sumamente eficientes en caso de rocas fisuradas o corre el riesgo de estarlo después de un corto tiempo.

Durante estos últimos años está progresando rápidamente el uso de pernos de roca tipo expandible, en todas las minas del mundo entero, particularmente en la mina Quiruvilca; reemplazando a los tipos de pernos antes mencionados, por su versatilidad de adaptación para resolver cualquier problema de sostenimiento, y, su bajo costo relativo a los anteriores.

Es lógicamente razonable un estudio detallado de los problemas técnicos que presenta un buen anclamiento, en especial tratándose de pernos tipo expandibles; los cuales podría ser agrupado en la forma siguiente:

- A) Fluencia de las rocas.
- B) Perforación del hueco y
- C) Diseño del casquillo expandible.

#### A) Fluencia de las rocas

La fluencia de las rocas, sobre todo tratándose de rocas blandas, hace que suceda, un desplazamiento del punto de anclaje, produciendo el decaimiento de la tensión del perno; por su puesto este problema es mucho menor tratándose de materiales resistentes, y depende también del diseño del casquillo expandible.

En la mayoría de las veces se ha observado un ancla

miento bastante eficiente en una determinada roca, en el momento de su instalación; pero posteriormente va disminuyendo tal eficiencia a medida que pasa el tiempo; causado entre otros factores por la fluencia de la roca. En otras palabras, a medida que transcurre el tiempo, la resistencia a la compresibilidad de la roca, va decayendo, hasta el punto, que la presión ejercida por el casquillo sobre las paredes del hueco resulta ser mayor, ocasionando el resbalamiento del anclaje.

#### B) Perforación del hueco

Otro factor de la deficiencia del anclaje son los problemas de perforación del hueco. Los agujeros sobredimensionados, irregulares o subdimensionados pueden causar un buen anclamiento aparente; creando la inseguridad en el sostenimiento del techo o pared de la labor empernada.

a) Huecos sobredimensionados. - Son motivados por el uso de brocas grandes o amolados incorrectamente, y, el giro demasiado del barreno en la parte terminal del hueco, es decir en el lugar de asentamiento del casquillo expandible.

El posible que el casquillo expandible ancle eficientemente en éste tipo de perforaciones, sin embargo existe la certeza de que la capacidad del anclamiento falle con un pequeño aumento de carga, como sucede cuando la roca se expande.

b) Huecos irregulares. - Son motivadas a la pobre

técnica de perforación, a la existencia de drusas o geodas, ó, a que el terreno tienda a desgranarse.

En esta clase de perforaciones; el perno de roca puede ser introducido tan fácilmente al hueco, pero sin conseguir su anclamiento, ó, muchas veces sucede lo contrario, que no se puede introducir al hueco.

c) Huecos subdimensionados. - Generalmente los huecos subdimensionados son debidos al pobre mantenimiento del equipo de perforación, en especial referente a los barrenos.

Si el personal está mal instruído en la técnica de empernación, es posible en éste caso, lo introduzca al perno dentro del hueco a base de intensivos golpes de martillo; ocasionando que el casquillo expandible se monte sobre el soporte u oreja del perno, quedándose fijo conjuntamente con la varilla; o también, el soporte laminado del casquillo se rompe quedando libre las hojas. En ambos casos no se conseguirá ninguna clase de anclamiento exitoso.

Para encontrar estas fallas de las dimensiones, y eliminar los malos trabajos posteriores, muchas veces es recomendable usar previamente un calibrador de hueco tipo Ohio Brass.

### C) Diseño del casquillo expandible

El diseño de casquillos expandibles se puede considerar de dos tipos; uno de los cuales es de cuatro hojas y

se expande hacia el fondo del hueco, llamado standard; y el otro, es de dos hojas y se expande hacia afuera, llamado de afianzamiento. Estos dos tipos se puede observar en la lámina N° 6, Fig. b y Fig. c. respectivamente. Por su puesto que dentro de estos existen numerosos modelos, además cada uno de estos tipos de casquillos expandibles tienen sus ventajas bajo ciertas condiciones de la roca que se quiere empernar.

Llamemos el casquillo expandible standard y de afianzamiento, tipo D y F respectivamente. El tamaño y el espaciamiento de la endentadura del tipo D es relativamente menor que la del tipo F, como se puede apreciar en la fotografía N° 1. También consideramos una variedad del modelo tipo afianzamiento, con mayor área de contacto que las anteriores; pero cuyo tamaño y espaciamento de las endentaduras sea menor que del tipo standard, la cual llamaremos tipo Nm.

De las puebas realizadas por Robert Stefanko, respecto a la influencia del casquillo en el enclaje, teniendo en cuenta el diseño; es obtenido las siguientes conclusiones:

a).- Area de contacto.- En los pernos de roca es visible el decaimiento del anclaje a medida que pasa el tiempo, desde el momento de su instalación; cuyo grado de disminución depende del diseño del casquillo expandible; siendo necesario el reapretamiento para resolver éste problema.

Teniendo casquillos expandibles de tamaño y espa-

ciamiento de sus endentaduras iguales, pero el área de contacto con la roca sea diferente; se observa que el casquillo expandible de mayor área de contacto, tiene mejor rendimiento en el anclaje antes y después del reapretamiento; ésto nos conduce a sospechar que la roca fue cargado en corto tiempo más allá de su límite que resiste a los esfuerzos, cuando el área de contacto es relativamente pequeña; la cual origina la fluencia de la roca decayendo la carga a que está sometido el perno de roca. Sin embargo en ningún caso se puede proveer completamente que el área actúe en su totalidad, a menos que el tarugo sea suficientemente, como para hacer el aumento del área de contacto efectivo.

b) La dentadura.- El diseño del tamaño y el espaciamiento de las dentaduras del casquillo expandible, es otro de los factores que influyen en el anclaje del empernado de roca, obteniéndose las conclusiones siguientes:

1b.- Según pruebas realizadas en bloques de concreto nos indican que dentro de los 10 primeros días más o menos, de su instalación, el perno de roca con casquillo expandible tipo F, tiene mejor rendimiento de anclaje; sin embargo a partir de éste pequeño lapso comienza a decaer, en comparación con la del casquillo tipo D; éste último se mantiene en forma más o menos estable en los tiempos subsiguientes; teniendo mejor rendimiento aún, el casquillo tipo Nm. Estas pruebas nos indican que pernos con casquillos de dentaduras profundas y espaciadas, ocasionan dislocaciones, ocurridos como re-

sultado de la desmenuación de la roca dura entre los dientes.

2b.- Como resultado de las pruebas realizadas del anclamiento de los pernos de roca en material blanda a base de piedra pómez, se concluyen, de que el casquillo tipo F es sumamente beneficioso en comparación al casquillo tipo D; y también al tipo Nm.

Sin embargo, tanto el tamaño y espaciamiento de las dentaduras de los casquillos expandibles son limitados; es así, que casquillos que tienen el tamaño y espaciamiento de dentaduras menores que la del Nm supuesto, tienen rendimiento de anclaje pésimo en roca dura, posiblemente debido a que las hojas del casquillo se encuentran casi aparejadas, cuyo coeficiente de fricción es pequeño, ocasionando fallas en el anclaje.

Para la determinación de la eficiencia del anclaje se han probado muchos artificios, tales como; la medición por intermedio de un registrador eléctrico, la colocación de arandelas a presión entre la cabeza o tuerca del perno y la superficie de la roca, resultando estos métodos demasiado complejos y costosos para aplicaciones rutinarias; y, muchas veces dan resultados deficientes el uso de arandelas a presión.

Los mejores resultados obtenidos hasta la actualidad en la medición de la eficiencia del anclaje, son por me

dio de las pruebas de estiramiento de los pernos, con la utilización de un tensiómetro, dicho sea de paso, se va generalizando en todas minas el uso de éste instrumento; también en la mina Quiruvilca es aplicado éste método de pruebas de anclamiento.

## 2.- TENSION DE LOS PERNOS DE ROCA

Es necesario tener en mente la adecuada aplicación de la fuerza de tensión en el perno de roca, para comprimir o amarrar la superficie de la roca a terreno firme. No se debe exceder dicha fuerza más allá de su límite elástico del perno de roca, durante su instalación, porque de lo contrario fallará con un pequeño aumento de carga, sin impedimento alguno.

En una palabra, la tensión es el factor que determina la efectividad del anclaje.

### A.- Aplicación de la tensión

En la práctica, para aplicar una determinada fuerza de tensión a cualquier tipo de perno, es necesario la administración de un momento de torsión (torque) a la tuerca o cabeza del perno.

El momento de torsión requerida, cuando en el perno de roca actúa una fuerza de tensión puramente axial, debe ser de tal modo que venga las siguientes fuerzas:

$$\text{Llamemos } \frac{1}{K} = \text{tg} (\alpha + \rho') \frac{dm}{2} + r_a \quad a \quad (2)$$

Según especificaciones de la ASME tenemos que:

$$h = 1/8''; \quad dm = 9/16''; \quad r_a = \frac{13''}{16}; \quad \mu' = \frac{\mu}{\cos B/2}$$

$B = 60^\circ =$  ángulo de los flancos de la rosca triangular.

$$\mu = \mu_a = 0.2$$

De acuerdo a estos datos se tiene:

$$\text{tg} \alpha = \frac{h}{\pi \cdot dm} = \frac{16}{3.1416 \times 8 \times 9} = 0.07073; \quad \alpha = 4^\circ 2'$$

$$\text{tg} \rho' = \mu' = \frac{\mu}{\cos B/2} = \frac{0.2}{0.866} = 0.23094; \quad \rho' = 13^\circ$$

$$\text{tg} (\alpha + \rho') = \text{tg} 17^\circ 2' = 0.30636.$$

Reemplazando sus valores de la ecuación (2) tenemos:

$$\frac{1}{K} = 0.30636 \times \frac{9}{32} + 0.2 \times \frac{13}{32} = \frac{1}{70} \text{ pies, este valor constante para pernos de roca de } 5/8'' \text{ de diámetros.}$$

Reemplazando en la ecuación (1) resulta.

$$G = 70 M \quad (3) \text{ Donde: Si } G \text{ es en libras (tensión),}$$
$$M \text{ será en libras-pies (torque).}$$

Este factor  $K = 70$  para pernos de  $5/8''$  de diámetro, está de acuerdo a las recomendaciones hechas por el Bureau of Mines de E.E. U.U. De la misma manera se puede obtener,  $K = 60$  para pernos de  $3/4''$  de diámetro.

De las especificaciones recomendadas por los fa-

bricantes, y de pruebas realizadas por diferentes autores, podemos obtener la carga promedio del límite elástico de los pernos de roca para los siguientes casos:

Pernos de alta resistencia de	5/8"	Ø	....	15,330	Lb.
"	"	"	"	"	"
"	3/4"	Ø	....	22,080	"
"	"	regular	"	"	"
"	5/8"	Ø	....	11,550	"
"	"	"	"	"	"
"	3/4"	Ø	....	16,560	"

Por seguridad la tensión aplicada a los pernos de roca, no debe exceder al 80% de la carga que representa el límite elástico. Teniendo en consideración los factores para pernos de 5/8" y 3/4" de diámetro, 70 y 60 respectivamente; los momentos, de torsión (torque) que se deben aplicar durante la instalación serán:

	Torque	Tensión
	libras= pies	libras
a) Pernos de 5/8" de Ø alta resist.	175	12,250
b) " " 3/4" de Ø " "	290	17,400
c) " " 5/8" de Ø Regl. resist.	130	9,100
d) " " 3/4" de Ø " "	220	13,200

En la mina Quiruvilca se utilizan en el sostenimiento de las labores, los tipos (a) y (b).

Es de suma importancia tener presente, que las roscas de los pernos de roca no deben lubricarse, ni tampoco la plancha donde asienta la tuerca, sino, se deben conservar bastante seco, porque de lo contrario disminuye los coe-

eficientes de fricción, aumentando en forma considerable el factor K; que multiplicado por el torque (M) estandarizado, resulta una tensión, que muchas veces puede superar a la carga del límite elástico del perno de roca.

La aplicación de las tensiones antes mencionadas son 100% eficientes, mientras que el perno se pueda instalar idealmente en forma perfecta, pero desafortunadamente, no se puede alcanzar en la práctica dicha instalación de pernos de roca, el cual motiva la existencia de otras fuerzas fuera de la tensión, y son:

a) Una fuerza torsional, producida por la aplicación del momento de torsión o torque en el perno de roca.

b) Una fuerza de flexión, localizada por lo general en el cuello del hueco, y es debido a que la superficie de la roca no es perfectamente perpendicular al eje del hueco.

#### B.- Causas de la pérdida de tensión

Las pruebas llevadas a cabo en la mina Quiruvilca, nos demuestra que todos los pernos de roca instalados a una determinada tensión, por lo general van perdiendo según el tiempo cierto porcentaje de la fuerza original a que estuvo sometido.

A continuación se da las posibles causas de perdi-

a) Deslizamiento del anclaje.- El desplazamiento

del anclaje puede suceder por la trituración o fluencia de la roca; la reacción química del material usado en el empernado, con las soluciones que circulan por las fisuras o poros de la roca, produciendo desgaste, cuya manifestación se puede observar en la fotografía N° 6.

b) Desenroscación del perno.- Este fenómeno sucede por lo general, debido a las vibraciones producidas por las explosiones en sitios cercanos a la roca empernada; por tal razón es aconsejable reajustar los pernos después de cada voladura, al último y cercano grupo de pernos instalados.

c) Defectos del proceso de instalación.- La deformación del orificio en la zona de anclamiento, posiblemente ocasione pérdidas de tensión del perno, con un pequeño aumento de carga. De la misma manera si la superficie de la roca, donde actúa la plancha o placa de apoyo es irregular producirá un asentamiento inadecuado, y la consiguiente pérdida de tensión, o también si la superficie de apoyo tiende a crear la fuerza de flexión, entonces disminuirá la tensión del perno; como se demuestra por las pruebas realizadas a continuación, y cuyo resultado se puede observar en la lámina N° 1.

Tabla N° 1

Excentricidad $\theta$	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
Tensión Promedio Libras.	12,000	10,800	10,500	8,200	8,400	4,900	4,500

También la falla del perno se produce con mayor facilidad en pernos excéntricos, donde la tensión permanece constante o ligeramente aumentado, es decir, no hay pérdida, como por ejemplo en casos donde la roca se expande; cuyo efecto y forma de rotura se puede observar en la fotografía N° 19.

Por lo tanto con el fin de aprovechar el mayor rendimiento de los pernos, es obvio que deben evitarse la excentricidad de los pernos.

### 3.- DISPOSICION DE LOS PERNOS DE ROCA

Otro de los elementos requeridos para una buena acción del empernado de roca, es la disposición o modelo adecuado de los pernos, en las labores subterráneas que requieren soporte.

La dirección de los pernos de roca son generalmente normales a la superficie de la abertura, cuya longitud que deben poseer los pernos de roca, para ser anclados con eficiencia, varían por término medio entre  $1/3$  y  $2/3$  de la anchura de la abertura, sin que esto esté plenamente justificado.

El espaciamiento y ubicación de los pernos de roca dependen enteramente de las condiciones locales del terreno y de la forma de la abertura o elección del proyecto de minado, por consiguiente, no existe modelos fijos de espacia-

miento y ubicación uniforme; sin embargo es conveniente en lo posible, suministrar un empernado sistemático que permita la seguridad del trabajador con el mínimo número de pernos, siendo preferible mantener por el lado de la seguridad.

#### A.- Modelos en galerías

En la actualidad en la mina Quiruvilca el 80% de los socavones, en promedio, utilizan como medio de soporte los pernos de roca; cuyos modelos o disposiciones son ilustradas en la lámina N° 3 y 4 ; también se puede observar en las fotografías N° 7, 8, 9, y 11.

El procedimiento seguido en la instalación del empernado son realizados, comenzando primero del centro del socavón, para luego terminar en los costados o paredes, utilizándose para ésta operación pernos de 6 pies de longitud; con planchas o placas entre la tuerca y la superficie del terreno, si éste es fragil y duro; pero si se tiene área que se desgranar, son ~~panizados~~ o extremadamente suaves, se complementan a la plancha, con el uso de cabezales de madera, de rieles viejos ó con mallas metálicas de 2" de luz, como se puede observar en las fotografías N° 8 tomadas en la mina Quiruvilca, con la finalidad de aumentar el área de soporte o evitar caídas de pequeños fragmentos de roca.

El empernado de roca se lleva a cabo inmediatamen



Fot. N° 7  
Espejo de falla de la veta Napoleon



Fot. N° 8  
Galería sostenida con pernos  
y malla



Fot. N° 9  
Galerías sostenidas con pernos

te después de abrir el socavón, porque una vez que el afloramiento de la roca haya progresado es un poco difícil el control.

En términos generales los pernos de roca se colocan en forma de abanico según sección transversal de la galería, y, siendo contenidos los pernos dentro de planos verticales; espaciados unos a otros, a un promedio de tres pies.

El perno más bajo de la pared de la galería, se encuentra situado por lo general a 4 pies sobre la riel o el piso del socavón.

Es razonable que, estos espaciamientos, ubicaciones y direcciones de las perforaciones para el empernado, varíen según las condiciones de la labor que se quiere sostener; y también según la situación del punto de anclaje eficiente.

#### B.- Modelos en tajeos

El 70% de los tajeos que se encuentra en explotación, en la mina Quiruvilca, son de corte y relleno sostenidas las paredes y el techo por medio de pernos de roca.

Como las paredes y el techo de los tajeos en explotación, necesitan sólo soportes temporales, los aditamentos que se emplean entre la cabeza o tuerca del perno y la superficie de la roca, son los cabezales de madera, de 3" x 6" x 12", que aumentan la superficie de acción del perno, co



Fot. N° 10

La misma galería de la fot. N° 9  
sostenida con cuadros



Fot. N° 11

La misma galería de la fot. N° 9 sos-  
tenida con pernos y cabezales de rieles

locados generalmente en sentido transversal al rumbo de la veta. La adición de mallas de acero, cabezales de rieles usa dos; entre la tuerca o cabeza del perno y la superficie de la roca, no son convenientes en los tajeos, debido a su corta duración del sostenimiento del techo, y de las paredes por medio de pernos de roca.

Los pernos de roca en los tajeos son instalados a semejante espaciamiento que en los socavones, aunque por lo general son de 3 a 3 1/2 pies de centro a centro en el techo, y de un promedio de 4 pies en la caja corno, omitiendo se generalmente el uso en la caja río.

La longitud de los pernos colocados en el techo del tajeo son de 6 pies, cuyas perforaciones de los huecos son perpendiculares a la superficie del techo, es decir pa- ralela al buzamiento de la veta y contenidas dentro de pla- nos verticales; de tal manera que no ocasione obstáculo al siguiente corte. Estos pernos de roca son anclados exclusiva- mente en la veta, sin tocar ninguna de las cajas, porque de lo contrario al siguiente corte se tendría el mineral di- luído por la rotura de la caja.

Los pernos de roca empleados en el sostenimiento de las cajas o paredes del tajeo, son de 4 pies de longitud, cuya dirección de los huecos son normales a la superficie de las cajas. Estas disposiciones son ilustradas en las fo- tografías N<sup>o</sup> 13, 14 y 17 y láminas N<sup>o</sup> 3 y 4.

El diámetro de los huecos para el empernado son de 1 1/4" cuando se utilizan casquillos expandibles tipo estándar; y de 1 3/8" tratándose de casquillos expandibles de afianzamiento.

Como acabamos de ver, el modelo del empernado es susceptible a modificaciones según como dicte las condiciones locales del terreno, el cual para su sostenimiento son basadas en pruebas hechas, y también, en la experiencia del individuo que realiza el empernado de roca.

#### C.- Otras labores

Los pernos de roca son utilizados en otras diferentes labores subterráneas en forma permanente, como son en las estaciones de baterías, subestaciones eléctricas, estaciones bombeo, piques, etc.

La forma y disposición de las instalaciones son semejantes a los anteriormente estudiados, pero muchas veces con una densidad relativamente mayor de pernos de roca, y por lo general están complementados por el uso de la malla sobre todo el área abierto, y, además es inyectado una lechada de mortero en toda la superficie cubierta por la malla.

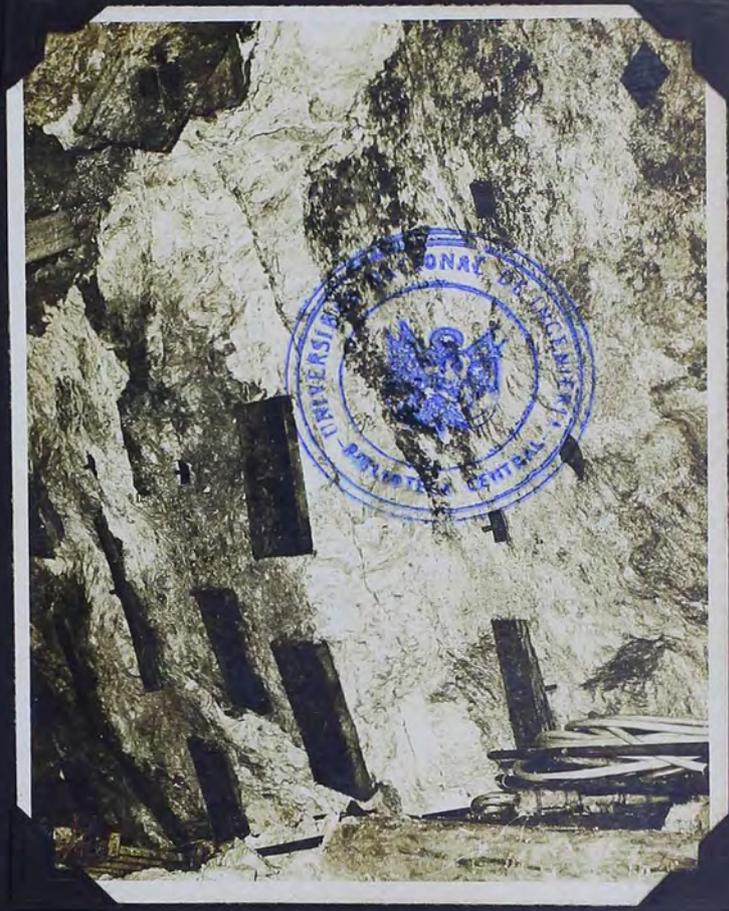
#### 4.- MANTENIMIENTO DEL EMPERNADO DE ROCA

El mantenimiento de los pernos de roca, nos permi



Fot. N° 12

Tajeo con sostenimiento de con  
junto de cuadros



Fot. N° 13

Rajaduras de La caja  
cerro de un tajeo



Fot. N° 14

EL mismo tajeo de la fot. N° 12 soste  
nida con perrnos de roca abertura  
aproxim. 1.8m x 5.5m

te la posibilidad de resolver los problemas que se presentan en el empernado a medida que pasa el tiempo, con la finalidad de tener en operación funcional, aumentar el rendimiento, y, que se encuentre en un estado que permita la seguridad del trabajador.

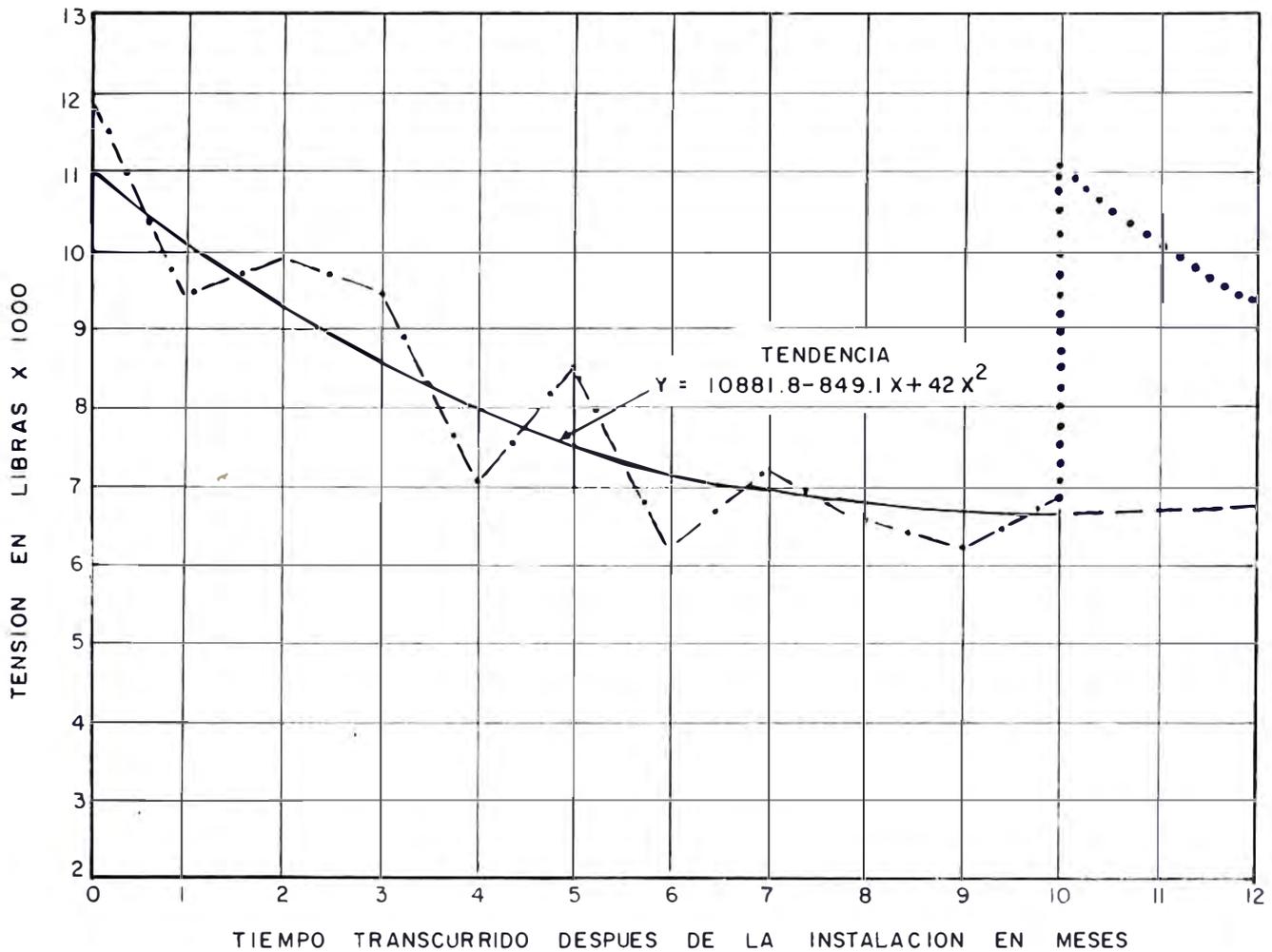
En otras palabras nos conduce a saber las causas de las fallas o de las pérdidas de tensión, y la consiguiente necesidad de tomar precauciones para eliminar o limitar sus efectos desfavorables.

#### A.- Chequeo de la pérdida de tensión.

En la mina Quiruvilca se llevan constantemente checos de las pérdidas de tensión, del perno instalado, en especial en las labores que permanecen abiertas durante la vida de la mina.

La manera de comprobar la tensión de los pernos instalados es mediante la llave de torsión graduada (llave torque), que es sumamente rápida y simple, tal como se puede observar en la fotografía N° 20.

En la galería 395E, nivel 220, ( nivel principal de extracción) se han probado 320 pernos, agrupados según el tiempo mensual instalados; cuyos datos se ilustran en la tabla como resultado se ha obtenido que durante los primeros meses después de la instalación, baja intensamente la tensión de los pernos, con tendencia a estabilizar



FLUCTUACIONES DE LA TENSION SEGUN EL TIEMPO

LA CURVA ES RESULTADO DE 320 PRUEBAS

RESULTADO DEL REAPREMIENTO A LOS 10 MESES

TIEMPO EN QUE LA TENSION ES MINIMA:  $\frac{dy}{dx} = 0 \Rightarrow -849.1 + 84X$   
 $X = 10$  MESES

PORCENTAJE DE LA PERDIDA DE TENSION A LOS 10 MESES ES DE 45%

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE MINERIA

CAMBIOS DE TENSION SEGUN EL  
 TIEMPO, EN EL NIVEL 220

MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. N° 8

Octubre 1965

se a medida que pasa los meses, como puede ser observado en la lámina N° 8.

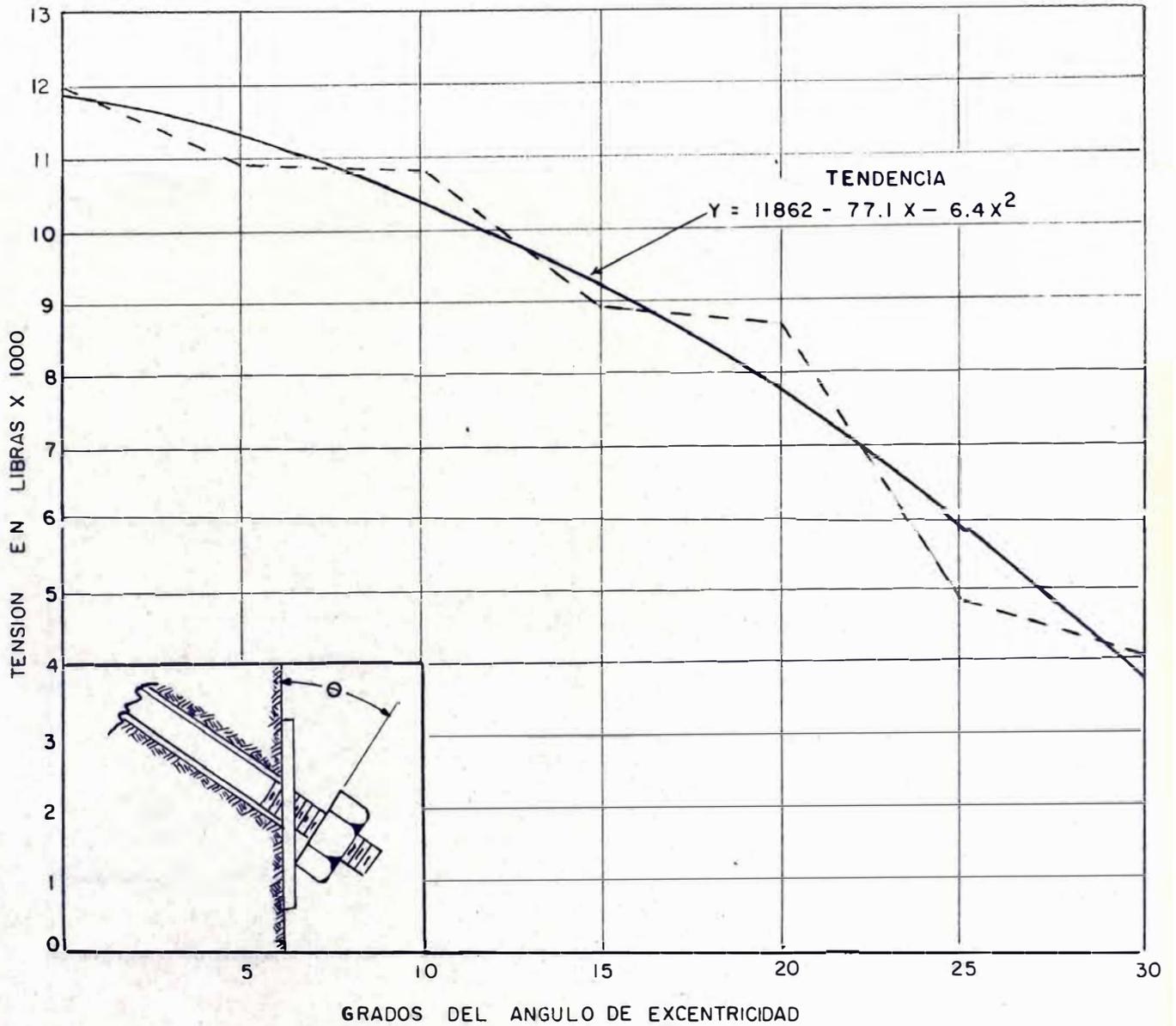
La variación de la pérdida de tensión resulta ser una línea quebrada, con tendencia a adaptar una curva de la forma  $Y = a + bX + c X^2$ , según las relaciones que existe entre X e Y que representan el tiempo y la tensión respectivamente.

Según datos de la tabla N° 2 se obtiene los valores de las constantes a, b y c; convirtiéndose la anterior ecuación en:  $Y = 10881.8 - 849.1 X + 42X^2$  (1)

Derivando esta ecuación para obtener el mínimo tendremos:  $\frac{dy}{dx} = -849.1 + 84X = 0$   
 $X = 10$

Como el eje horizontal de la coordenada representa el tiempo, entonces X indicará meses, por lo tanto, el tiempo en que la tensión es mínima será a los 10 meses. Reemplazando este valor en la ecuación (1) tendremos, que la tensión mínima representa más o menos el 45% del original.

Por su puesto, esta conclusión, es exclusivamente para la roca andesita que predomina en un 85%, en el área de Quiruvilca.



$\Theta$  = ANGULO DE EXCENTRICIDAD

CURVA RESULTADO DE 14 PRUEBAS

EVITAR EXCENTRICIDAD MAYOR DE 25°

**UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE MINERIA**

**INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD  
 EN LA TENSION DE LOS PERNOS DE  
 ROCA MINA QUIRUVILCA**

Por: J. SOLANO S

LAM. No 9

Octubre 1965

Tabla N° 2

Tiempo de instalación en meses	Tensión de los pernos	Porcentaje de pérdidas de tensión	
1	9499 Lbs	22%	N° de pruebas 32 para cada mes.  Tensión original 12,200 libras.
2	9912	19	
3	9457	23	
4	7126	42	
5	8645	30	
6	6342	48	
7	7322	40	
8	6776	44	
9	6342	48	
10	6850	44	

B.- Corrección de las pérdidas de tensión

Una vez obtenido el tiempo promedio en que el perno comienza a trabajar deficientemente, es aconsejable man-  
tener dentro de la seguridad y mejor rendimiento, para lo cual es necesario el reapretamiento de todos los pernos que en nuestro caso haya alcanzado los 10 meses de instalación; cuyo efecto se puede observar en la lámina N° 8 con líneas punteadas; por lo tanto se disminuirá o eliminará en parte, las pérdidas de tensión del empernado, a causa del desenroscamiento, defectos de instalación y en parte la fluen-  
cia del terreno.

Si durante las pruebas se observan la fluencia de la roca en la superficie de contacto de la plancha, entonces puede utilizarse elementos tales como cabazales, barras de rieles etc., de mayor área de apoyo, con el objeto de disminuir la presión en la superficie de la roca.

Si la pérdida de tensión es debido al desplazamiento del punto de anclaje ocasionada por la fluencia de la roca, el reapretamiento tiene poco valor, porque al alcanzar la tensión requerida nuevamente decaerá.

Para solucionar este problema, en parte, es ventajoso utilizar pernos más expandibles, es decir en el caso de utilizar pernos de  $5/8''$  y  $3/4''$  de diámetro, sería más conveniente el primero, por razones que a continuación se demuestra:

Suponiendo que instalamos dos pernos a 10,000 libras de tensión (carga comprendida dentro del límite elástico), en condiciones semejantes de terreno, siendo uno de ellos, de  $5/8''$  y el otro de  $3/4''$  de diámetro, ambos de 72" de longitud.

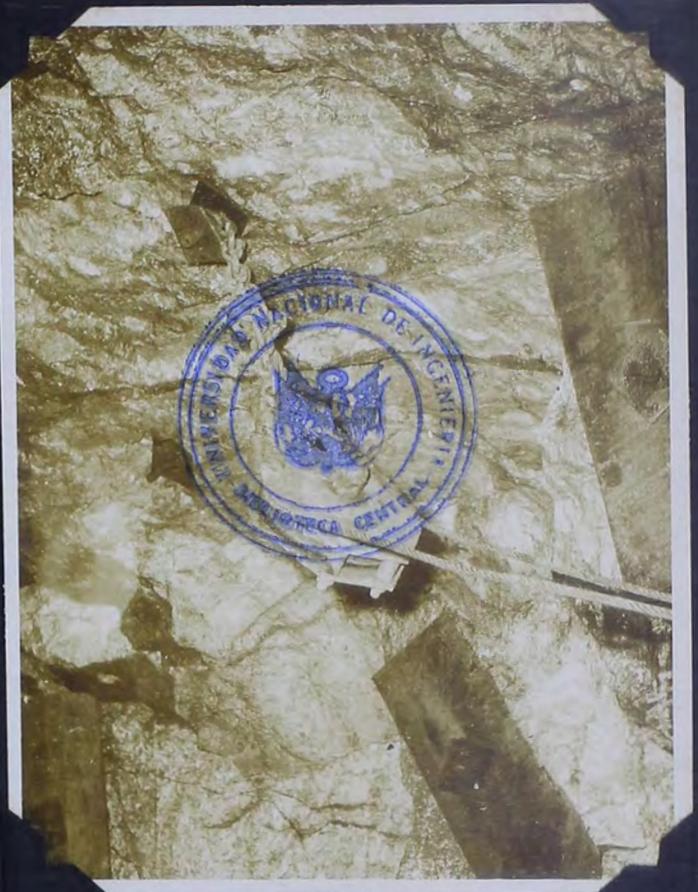
Según la lámina N° 10, Fig. a y b se obtiene que el alargamiento para el de  $5/8''$  y  $3/4''$  de diámetro, es de 0.096" y 0.068" respectivamente, que representamos en la lámina N° 10 Fig. c.

Asumiendo que a una fuerza de 10,000 libras la roca fluye una cantidad de 0.03". En esta condición, según la



Fot. 15

Manguera de ventilación sostenida  
en pernos



Fot. 16

Sostenimiento de la  
polea del winche, del perno



Fot. 17

Disposición del empernado de un tejero  
con cabezales de madera.

Fig. c, el perno de  $3/4''$  y  $5/8''$  de diámetro se encuentran sometidos a una tensión de 5,700 y 6,900 libras respectivamente, resultando éste último favorable.

Según esta demostración es recomendable el uso de materiales de empernado lo más expandibles, tales como arandelas tipo resorte, para terrenos que fluyen a presiones relativamente pequeñas.

Fig. a

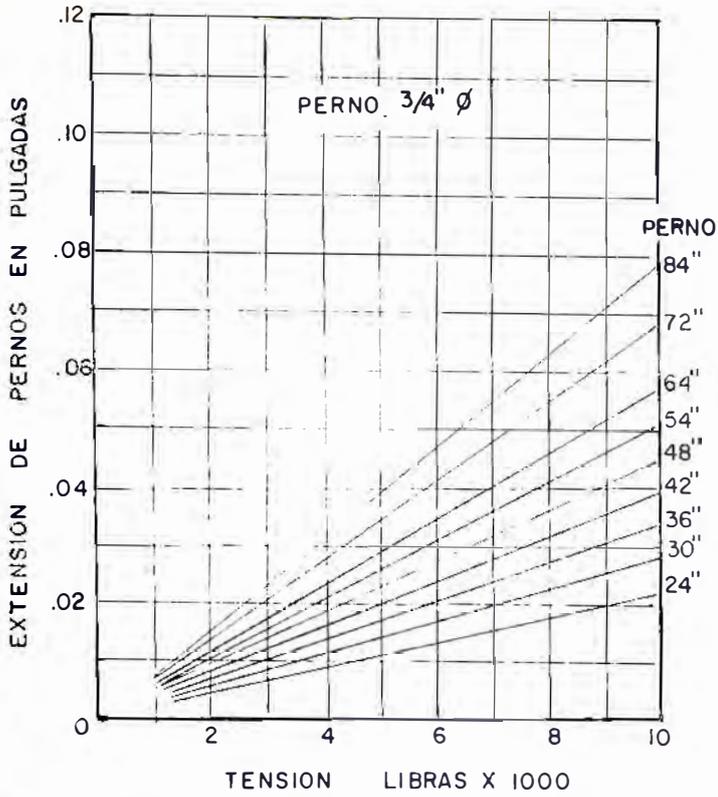
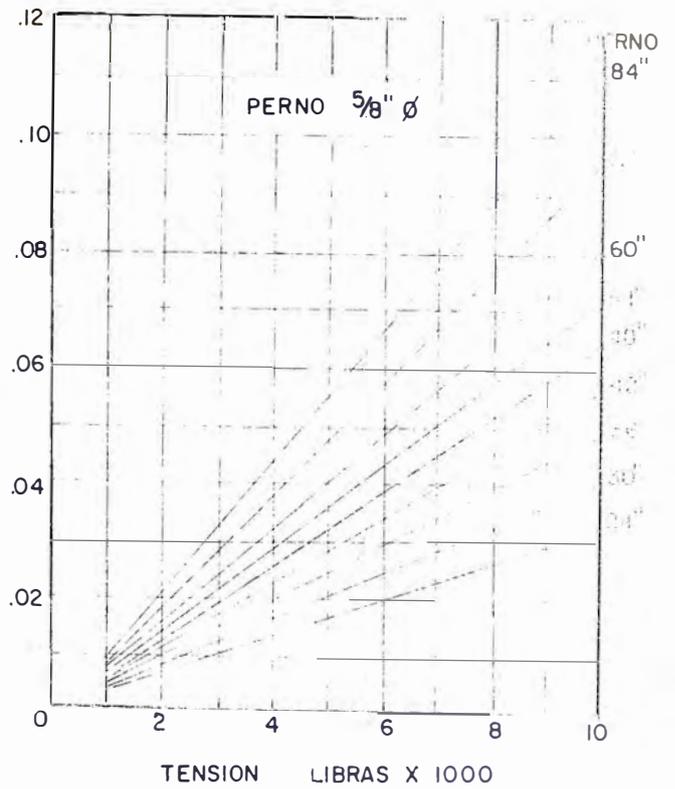
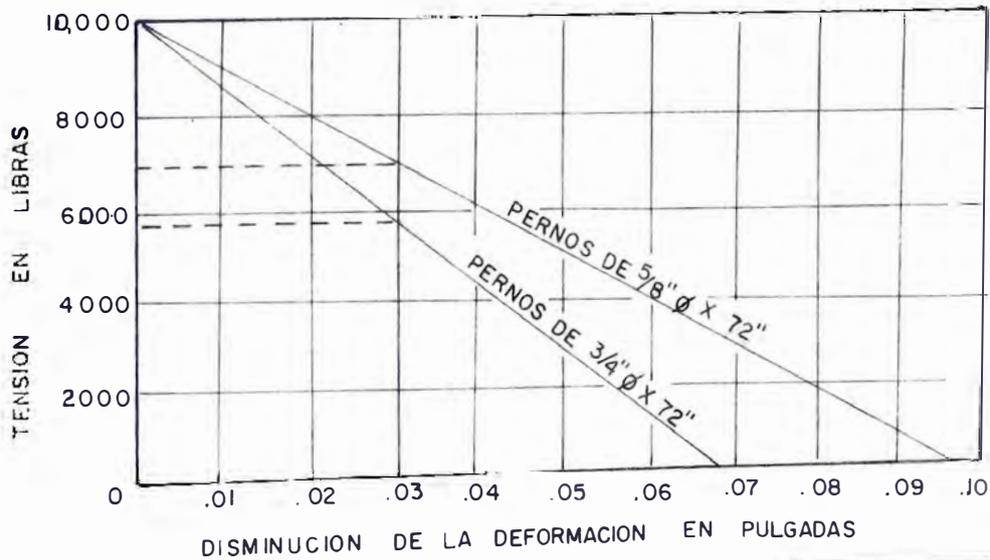


Fig. b



DEFORMACION LONGITUDINAL DE LOS PERNOS DE ROCA

Fig. c



UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
FACULTAD DE MINERIA  
COMPARACION DE LA DEFORMACION  
LINEAL DE LOS PERNOS DE ROCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. No. 10

Octubre 1965

## CAPITULO V

### INTRODUCCION DE LOS PERNOS DE ROCA EN LA MINA QUIRUVILCA

En general para la introducción de los pernos de roca, como medio de sostenimiento en una mina, es necesario estudiar las condiciones y características de anclaje del terreno; en seguida adaptar un determinado tipo de perno de roca, según la limitación de su carga inherente; para luego estandarizar la densidad efectiva del empernado, clase de placas o elementos de apoyo utilizables, etc; los cuales son resueltos mediante las diferentes clases de pruebas, y según las conclusiones obtenidas a base de la vigilancia de las labores empernadas en comienzo.

#### 1.- ENSAYOS

En la mina Quiruvilca se han llevado a cabo diferentes métodos de ensayo respecto al empernado de roca, con la finalidad de saber las condiciones del terreno, de ésta manera elegir o no el perno de roca como medio de sostenimiento; y siendo las siguientes:

##### A.- Ensayos de los cambios de tensión

El ensayo rápido y simple de los cambios de tensión del perno de roca, son los chequeos periódicos, mediante la utilización de las llaves de torsión (llave torque), como ya

ha sido mencionado en el capítulo anterior; que dá la relación de las variaciones de tensión en un perno instalado, a medida que pasa el tiempo.

Un perno en el momento de ser instalado, se encuentra bajo un torque de 170 ó 130 libras-pie, según sea de alta o regular resistencia. Después de un determinado tiempo, si la tuerca o cabeza del perno comienza a deslizarse con la aplicación de momentos de torsión (torque) de valores menores que las cantidades antes mencionadas, nos indica pérdida de tensión en los pernos; o si es más, nos indicará aumento en la tensión de los pernos.

La tensión a que está sometido el perno en el momento del ensayo, se obtiene, multiplicando el factor  $K = 70$  por el momento de torsión leído en el indicador de la llave de torsión.

Otra manera de medir los cambios de tensión, es mediante el uso de una capa de caucho, entre dos planchas de acero, de formas circulares. Al ser aplicada la tensión, la sección del caucho o jebe, es comprimida, dando por resultado una expansión a lo largo de la circunferencia.

La medida del incremento indica la variación de la tensión del perno de roca. Una variación del anterior consiste de un resorte de acero de forma cóncava instalado entre la tuerca o cabeza del perno y la placa o plancha de apoyo.

Finalmente la tensión se puede chequear mediante

artefactos eléctricos, pero estos métodos son demasiado complejos y costosos para aplicaciones rutinarias, aunque hacen una gran facilidad la labor de supervisión del empernado, teniendo la certeza de que cada perno soporte la carga requerida.

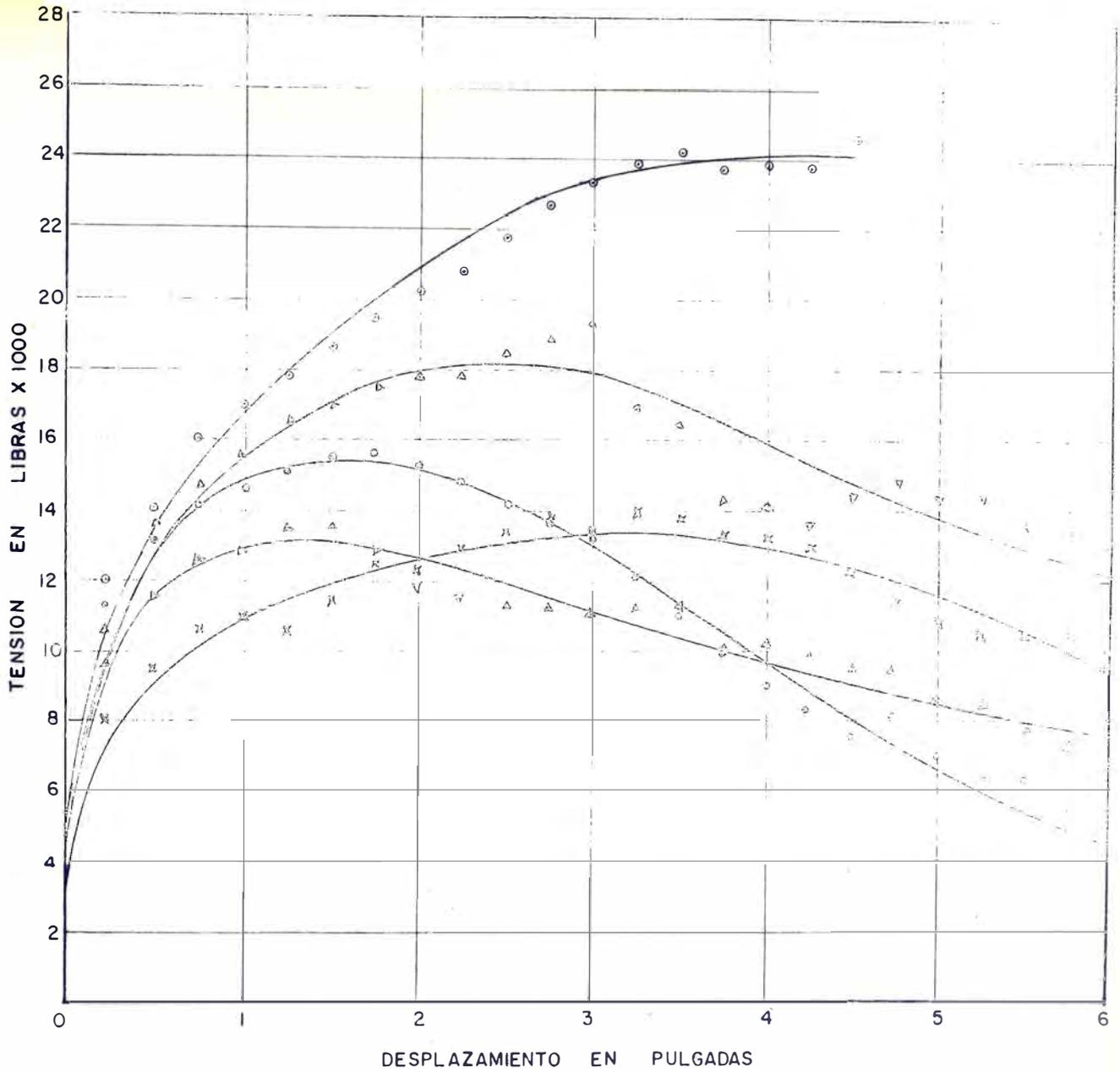
#### B.- Características del anclaje

Con el fin de evaluar la capacidad de anclaje de la roca, se han hecho numerosas pruebas de estiramiento, en los tajeos de las diferentes vetas, que se encuentran actualmente en explotación; haciendo un total de 126 pruebas.

El camino más conveniente para realizar las pruebas de estiramiento, es utilizando un tensiómetro, compuesto por una gata hidráulica, el cual determina la efectividad del anclaje según la carga leída en el indicador. Ver fotografía N° 18 .

Como resultado de estas pruebas, actualmente el 70% de los tajeos son de corte y relleno, sostenidas las paredes y techo por pernos de roca, en vez de la utilización de la madera.

Se introdujo el uso de pernos de roca como medio de sostenimiento de las labores subterráneas, basadas principalmente en que el valor máximo de la carga de retención del terreno se encuentra por lo menos igual o encima del límite elástico del perno de roca que se utilizan, como se demuestra según los resultados de estiramiento, ilustrados en



	VETA	CAJA	PRUEBAS
VATA COQUITA	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●	60
VATA GATA	△ △ △ △ △	▲ ▲ ▲ ▲ ▲	42
VATA NAPOLEON		× × × × × × ×	24

UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE MINERIA  
 COMPARACION DE LAS CARACTERIS-  
 TICAS DE ANCLAJE DE LAS DIFE-  
 RENTES VETAS  
 MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S. LAM. No 11  
 Octubre 1965

TABLA N° 3

Desplazamiento en pulgadas	Tensión en libras Veta Coquita		Tensión en libras Veta Gata		Ten. en lbs Veta Napoleón
	Prom. de 60 Pruebs.		Prom. de 42 Prubs.		Prom. 24 Pbs.
	CAJA	VETA	CAJA	VETA	CAJA
1/4	11200	12000	9750	10450	8000
1/2	13200	14120	11500	13600	9600
3/4	14200	16000	12600	14750	10350
1	14700	17020	12850	15650	11000
1/4	15100	17880	13400	16400	10300
1/2	15680	18720	13500	17050	11550
3/4	15740	19420	12850	17450	12300
2	15280	20180	11900	17850	12200
1/4	14800	20840	11450	17850	13050
1/2	14160	21780	11250	18350	13450
3/4	13720	22660	11300	18950	13800
3	13380	23280	11050	19400	13300
1/4	12020	23920	11350	16860	14000
1/2	11120	24060	11250	16520	13800
3/4	9960	23820	9900	14100	13300
4	9020	23850	10200	14000	13100
1/4	8260	23800	9900	13500	12900
1/2	7760	24400	9550	14500	12200
3/4	8020		9400	14900	11500
5	7000		8750	14300	10900
1/4	6320		8450	14300	10500
1/2	6220		7850	13600	10500
3/4	5420		7300	13500	10500
6	5140		6900	13000	9600

la tabla N° 3 , que nos indica el promedio de pruebas hechas en los diferentes tajeos de cada veta.

Graficando los resultados de la tabla N° 3, obtenemos resultados estadísticos, indicado en la lámina N° 11; siendo el eje de las ordenadas la tensión en libras, y el eje de abscisas el desplazamiento de la tuerca o cabeza del perno, al ser estirado.

Analizando la lámina N° 11 obtenemos las siguientes conclusiones:

a) El desplazamiento de la tuerca o cabeza del perno es equivalente a la elongación del perno más el desplazamiento del anclaje.

En rocas firmes, para el desplazamiento de una determinada distancia de la tuerca o cabeza del perno, se requiere una fuerza relativamente mayor, y, es más uniformemente lineal que para rocas blandas.

b) La veta misma de Coquita tiene mejor capacidad de anclaje comparado con su misma caja; pero éste es superior a la caja de la veta Gata y Napoleón; a su vez es inferior a la veta misma de Gata.

c) Comparando las pruebas de estiramiento de las cajas, de la veta Gata con la de Napoleón; sacamos como conclusión, que la caja de la veta Gata tiene mejor capacidad de anclaje que la de Napoleón, a pesar de tener más o menos la misma capacidad máxima de anclaje (máxima carga de retención)

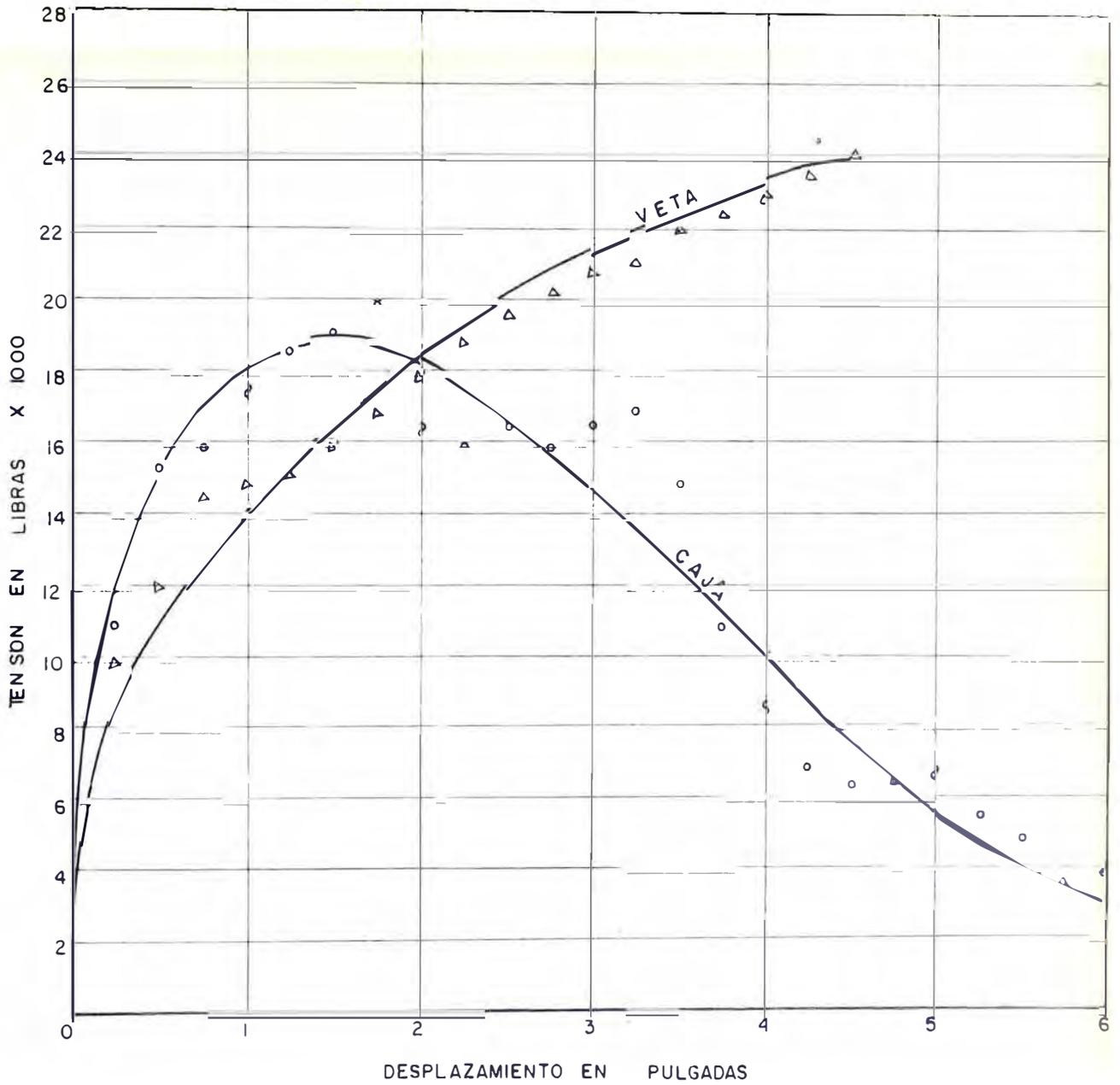


GRAFICO RESULTADO DE 6 PRUEBAS

UNIV. NAC. DE INGENIERIA

FACULTA

CARACTERISTICAS  
DEL TAJEO 140

MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. No 12

Octubre 1965

ción admitida por el terreno); porque para alcanzar capacidad máxima, el desplazamiento de la tuerca o cabeza del perno en las cajas de la veta Gata es mucho menor comparada con el desplazamiento de la tuerca o cabeza del perno de roca, en la caja de la veta Napoleón.

d) Tomando en forma particular el gráfico de las características de anclaje, del tajeo 140, veta Coquita, vemos que puede presentarse un cuarto caso; ilustrada en la lámina N° 12.

Para cargas debajo de la máxima capacidad de anclaje de la caja, es mejor éste último en comparación a la veta misma; pero la veta misma tiene superior capacidad de anclaje para cargas superiores.

Es necesario observar, que los resultados obtenidos de las pruebas de estiramiento, nos indican que, la veta misma de Coquita es la única, que tiene su capacidad máxima de anclaje, mayor que el límite de rotura del perno que se utiliza en la mina Quiruvilca.

## 2.- ELECCION DEL TIPO DE PERNO DE ROCA

Los primeros pernos utilizados en el sostenimiento de las labores subterráneas de la mina Quiruvilca, fueron los pernos de madera, pero sólo en forma muy esporádica; posteriormente fueron cambiados al uso de pernos tipo ranurado. Actualmente se ha generalizado el uso único de pernos tipo

expandible de  $5/8''$  de diámetro, por las siguientes razones:

A) Los pernos ranurados trabajan perfectamente sólo en rocas de dureza media, porque si son muy duras los pernos no anclan adecuadamente, y, si son blandas las cuñas se hundan en la roca. Mientras que los pernos tipo expandible son suficientemente variados para adaptarse a cualquier terreno.

B) La capacidad máxima de anclaje de los terrenos de la mina Quiruvilca, en su mayoría están debajo de las 22,000 libras, y encima de los 12,000 libras. Mientras que el límite elástico del perno de  $5/8''$  de diámetro (alta resistencia) está comprendido al rededor de 12,250 libras, y el punto de rotura a 25,000 libras, que satisfacen las condiciones o características de anclaje del terreno.

C) En casos donde se tiene fluencia de roca, los pernos tipo ranurado son deficientes por lo blando que es el terreno; siendo más ventajoso el uso de pernos tipo expandible, aún más, dentro de éstos tipos, el perno de  $5/8''$  de diámetro tiene mejor rendimiento que el de  $3/4''$  de diámetro, por las razones que se demuestra en el capítulo IV, referente al mantenimiento del empernado. Ver lámina N° 10.

D) Los pernos tipo expandible pueden ser instalados por medio de una simple llave de torsión (llave "cachimba") hecho en la maestranza de la mina, sin ser necesario el uso indispensable de equipos especiales; como sucede en la instalación de pernos ranurados, donde es menester el uso

de una herramienta o equipo de percusión.

E) Los pernos tipo expandible son de rápida instalación y removibles, además no necesitan perforaciones de profundidad específica, como sucede en el caso de utilizar pernos de roca ranurados.

F) El diámetro de los pernos ranurados son de 1", porque si fueran de diámetros menores, serían débiles en la parte ranurada. Esto ocasiona de que los pernos ranurados sean más caros que los expandibles de menores diámetros; y siendo así más económico el perno de 5/8" que el de 3/4" de diámetro.

G) Para terrenos de máxima capacidad de anclaje menores que las 12,000 libras, se está introduciendo el uso de los pernos expandibles de regular resistencia de 5/8" de diámetro, de casquillo expandible tipo afianzamiento; es decir, de dos hojas con dentaduras más espaciadas y profundas.

### 3.- VIGILANCIA DE LABORES EMPERNADAS

En primer lugar los jefes son los que instruyen a los trabajadores sobre lo que esperan del sostenimiento con pernos de roca, mostrándoles claramente como, cuando y donde deben empernarse en una labor.

El procedimiento del trabajo de empernar son variadas y muchas veces modificadas periódicamente cada vez

que sea necesario, con el fin de obtener mejor rendimiento e incluir los últimos adelantos.

Los lugares de trabajo que requieren soporte, son con frecuencia examinados, para asegurarse que no haya riesgos, permaneciéndose en el lugar, si las condiciones son peligrosas.

Los deberes básicos rutinarios de los vigilantes de las labores empernadas pueden ser agrupadas en la siguiente forma: chequear, el apretado de los pernos instalados mediante la llave "cachimba" o llave de torsión graduada para verificar la pérdida o aumento de tensión; la ubicación de los pernos de roca; la inclinación de las perforaciones respecto a la superficie o el aplanado de la superficie donde asienta la plancha con el fin de evitar excentricidades; el espaciamiento de perno a perno; la longitud de los pernos utilizables; también chequear la fuerza de torsión suministrada por las máquinas empernadoras, debido a que esta deficiencia crea la sub ó sobre tensión de los pernos, siendo sumamente peligroso , porque con un pequeño aumento de carga puede ocurrir incidentes, tales como la rotura del perno, el traspaso de la placa por las tuercas, rompimiento de cabezales etc.

Fot. N°18  
Probando el anclamiento  
de un perno con un ten-  
sómetro



Fot. N°19  
Indica la falla de un perno  
colocado excéntricamente  
debido a la expansión  
de la roca

Fot. N°20  
Probando la pérdida  
de tensión de un per-  
no, con una llave  
torque.



## CAPITULO VI

### EQUIPOS PARA EL EMPERNADO DE ROCA

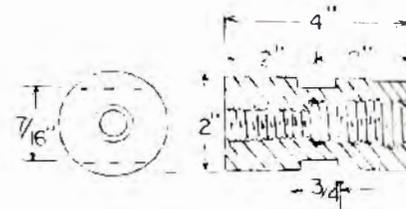
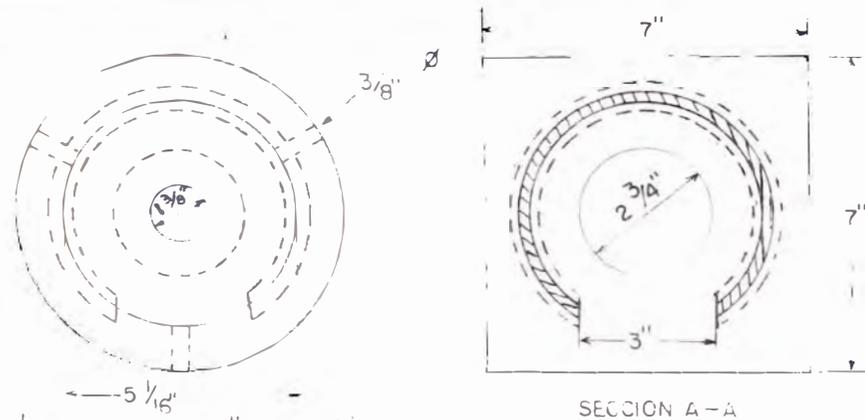
Los equipos necesarios para llevar a cabo el sostenimiento de labores subterráneas por medio de pernos de roca pueden ser agrupados en: esenciales y accesorios.

#### 1.- ESENCIALES

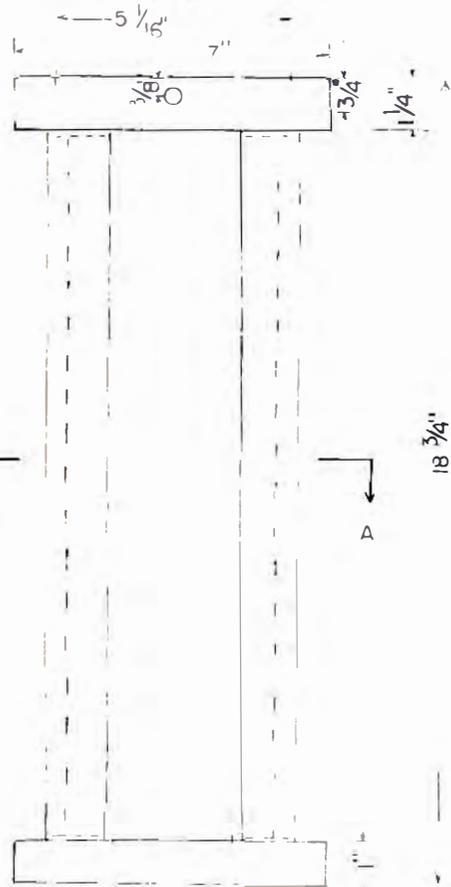
A.- Equipo de perforación, constituida por una máquina tipo Jackleg ó Stoper con sus respectivos juegos de barrenos los cuales son utilizados para hacer los huecos para pernos en los tajeos o en los avances de los frentes.

B.- Para el empernado de las rocas, es necesariamente fundamental la existencia de los pernos, con sus elementos complementarios tales como la tuerca, el casquillo expandible, plancha o placa de apoyo; muchas veces es fundamental los cabezales de madera, mallas, ect. como se puede observar en las fotografías N° 7, 8, 13 y 17.

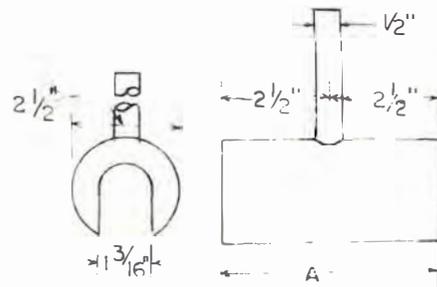
C.- Máquina empernadora "IMPACTTOOLS", que es usualmente considerada una necesidad, por su rapidez y facilidad en las operaciones del apretado de la tuerca o cabeza del perno, el cual es ilustrada en la fotografía N° 5.



ACOPLADOR  
(DIAM. INTERIOR VARIABLE)



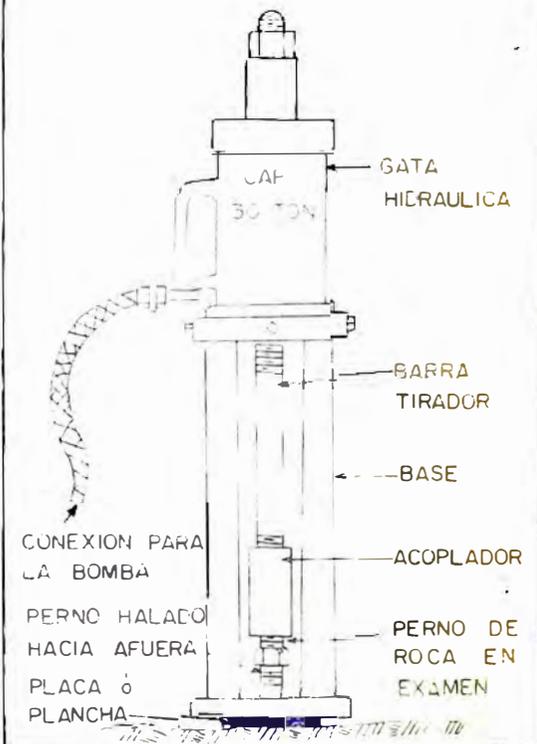
BASE CILINDRICO



ESPACIADOR



BARRA TIRADOR



UNIV. NAC. DE INGENIERIA  
FACULTAD DE MINERIA

TENSIOMETRO DE PERNOS DE ROCA  
TIPO SIMPLEX  
MINA QUIRUVILCA

Por: J. SOLANO S.

LAM. No 13

Octubre 1965

## 2.- ACCESORIOS.

A.- Una llave de torsión de mano, llamado también "chachimba", que es fabricado en la misma maestranza de la mina, sirve para ajustar la tuerca o cabeza de los pernos en casos donde no se cuente con la existencia de máquina empernadora. Observar la lámina N° 14 y fig. 1 de la misma manera la fotografía N° 3, cuya abertura exagonal puede ser también cuadrada, dependiendo, si el perno es de tuerca o de cabeza cuadrada respectivamente.

B.- Llave de torsión graduada, como es ilustrado en la lámina N° 14 fig. a ó también según la fotografía N° 20; cuya función es indicar a que grado se encuentra el perno en tensión, además ésta herramienta sirve para chequear la graduación respecto a la fuerza de torsión desarrollada por las máquinas empernadoras. Las llaves de torsión que se utilizan en Quiruvilca, tiene una graduación de 0 a 300 libras-pies.

C.- Equipo de pruebas de jalamiento, compuesto por una gata hidráulica.

La usada en Quiruvilca tiene una capacidad de 30 toneladas cortas, cuyo pistón tiene un desplazamiento máximo de 6 pulgadas. Ver fotografía N° 18 y lámina N° 13.

Actualmente en las minas de carbón de los E.U.; donde se tiene mantos casi horizontales, están implatando-

se torres de empernado; que permite a la vez, la perforación de los huecos, colocación de los pernos, y, su respectivo apretado de los pernos de roca.

### 3.- MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de las máquinas perforadoras, empernadoras, etc., nos permite la posibilidad de resolver to dos los problemas diarios, con el fin de tener en operación funcional, aumentar el rendimiento, y, que se encuentre en el estado de permitir la seguridad de trabajador; cuya conclusión se traduce en importantes reducciones de costo, mediante un buen organizado programa de mantenimiento periódico preventivo.

Las tareas de mantenimiento, aún cuando se compongan de pasos simples, no se presta a la automatización con gran facilidad; por consiguiente el hombre sigue siendo necesario para llevar a cabo las tareas de mantenimiento que son: La conservación, corrección y prevención;

#### A.- Conservación

La conservación de los equipos, debe ser conocida por el personal que la utiliza, de tal manera que las máqui nas perforadoras, empernadoras, etc.; en el momento de descanso deben estar en sitios adecuados, con el fin de evitar los deterioros, así por ejemplo por la corrosión; deben encontrarse siempre limpios al momento de iniciar los trabajos,

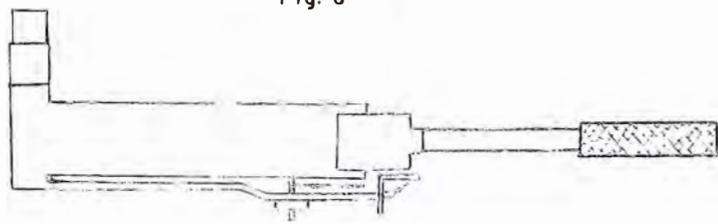
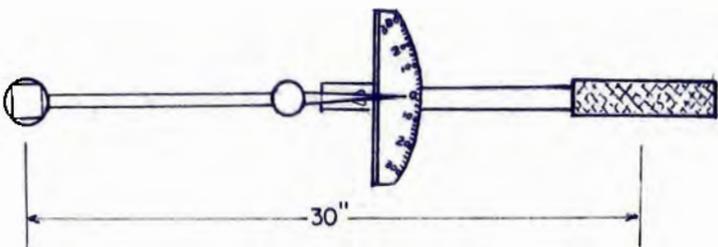


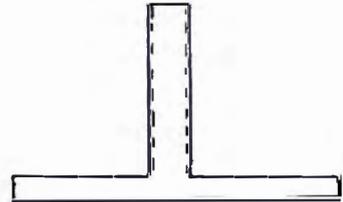
Fig. a



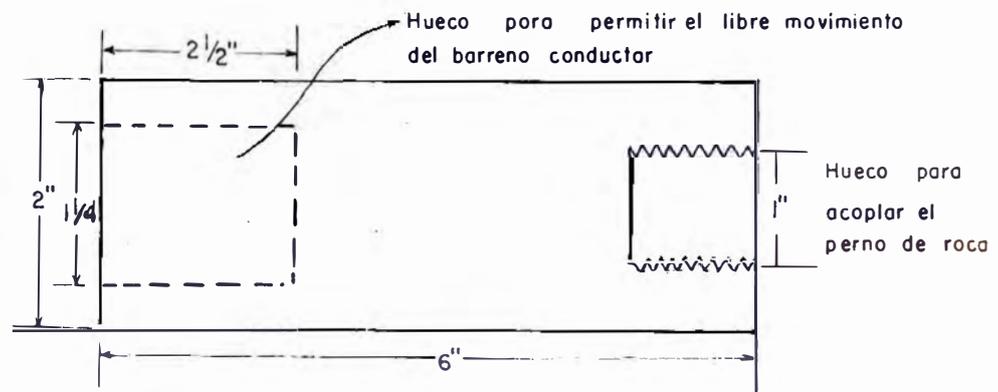
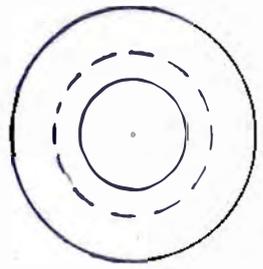
LLAVE DE TORSION GRADUADA



Fig. b



LLAVE "CACHIMBA"



ACOPLADOR PARA TRANSMITIR LA PERCUSION EN PERNOS RANURADOS

UNIV. NAC. DE INGENIERIA	
FACULTAD DE MINERIA	
EQUIPOS ACCESORIOS	
MINA QUIRUVILCA	
Por: J. SOLANO S.	LAM. No 14
	Octubre 1965

evitándose la humedad excesiva en el aire, el polvo, la herrumbre e incrustaciones de viejas mangueras y sistemas de tuberías; finalmente evitar el abuso del uso normal.

Durante el trabajo de los equipos, la lubricación es la base fundamental para la conservación, cuya acción es de reducir el coeficiente friccional entre las piezas facilitando el movimiento; evitar el sobrecalentamiento de las piezas transportando el calor al medio ambiente por medio del exchador, proteger de la suciedad originada por el desgaste de las piezas, transportando al medio ambiente conjuntamente con el calor generado; impedir la corrosión que es ocasionada principalmente por la humedad y las corrientes parásitas, al evitar el contacto con el agua y de las piezas.

La lubricación de los equipos debe ser realizada con aceites apropiados según especificaciones o recomendaciones de la fábrica; porque un lubricante de calidad diferente, limita el rendimiento de la máquina, acorta la duración y aumenta sus costos de reparación.

Como la lubricación es de suma importancia en el mantenimiento de los equipos de empernado de roca, es necesario tener cuidado en cuanto al lubricante dentro del almacén y en el lugar de trabajo; conservándose en lugares visibles, de tal manera que se pueda impedir cualquier contaminación de ácidos, de polvos, partículas, etc.; evitar además la mezcla con otros lubricantes o sustancias, porque ocasionan cambios en las propiedades físicas.

B. - Corrección.

La corrección de los equipos de empernado comprende todo el trabajo de reparación, que puede ser parcial en caso de equipos malogrados y total en caso de chequeos periódicos.

Para la corrección es fundamental los repuestos, que representan prácticamente mayor porcentaje del costo de mantenimiento a medida del tiempo de trabajo del equipo.

Muchas veces la corrección no se puede llevar a cabo a falta de repuestos, esto conduce a la falla por fatiga progresiva de los equipos.

No obstante, todos los reemplazos no deberán seguir una norma al azar debido a la negligencia por no observar un mantenimiento preventivo planificado.

C. - Prevención.

Otras de las tareas importantes en el mantenimiento es integrar el reemplazamiento de las piezas dentro de un programa, con la finalidad de realizar investigaciones de las razones de las fallas de las piezas del equipo de empernado, y prevenir el cambio de ellas antes que ocasione la paralización.

Para éste estudio es necesario llevar los records de las piezas cambiadas de cada máquina, donde es anotado el tiempo de servicio, número de inspecciones a que ha sido sometido , etc. De estos records, es realizado los estudios

de investigación, cuyas conclusiones son por ejemplo la revisión periódica de las máquinas perforadoras cada 1,000 pies de perforación, encontrándose en estudio actualmente el periodo de chequeo de las máquinas emperadoras, sin em bargo es sugerido más o menos cada 1000 a 2,000 pernos ajus tados.

De las investigaciones también se puede obtener el punto hasta donde se puede mantener económicamente los equipos de perforación o de emperado, mediante las estadísticas obtenidas a base de los records.

En otras palabras la verdadera meta de un programa de mantenimiento preventivo son el de reducir los costos y aumentar la eficiencia.

## CAPITULO VII

### VENTAJAS DEL ENPERNADO SOBRE EL ENMADERADO

#### 1. - GENERALES.

La ventaja más importante del empernado de roca, es el alto grado de protección concedida hacia los trabajadores, reduciendo gradualmente los accidentes por caída de roca, como sucede en las minas de los E.U.; particularmente en la mina Quiruvilca todavía no se puede obtener una conclusión fija por encontrarse en operación durante un corto tiempo, para poder ser comparado; sin embargo los primeros datos muestran un pequeño porcentaje de accidentes causados en circunstancias de trabajos con pernos.

Las labores sostenidas por pernos de roca ofrece mayor seguridad de transporte de materiales o circulación del personal, debido a los espacios libres de cualquier obstáculo. No pueden ser desalojados por el disparo o para el manipuleo de las máquinas como sucede en las labores sostenidas con madera, que pueden crear situaciones peligrosas.

La resistencia de las corrientes de ventilación es reducida por la eliminación de los obstáculos como las maderas de sostenimiento, mejorando de ésta manera la condición del aire en los tajeos, galerías, etc.

Reduce los accidentes en el manejo de los materiales por ser más versátiles; así el transporte de los pernos de roca es más rápida por la facilidad de maniobrabilidad.

Es eliminada el izamiento y manipulación de las cargas de desechos, así como también la contaminación de la mena.

El espacio para el almacenamiento requerido, es reducido, suministrando mayor recuperación del mineral, y, minimiza la pérdida de materiales.

Los cables, tubos, mangueras de ventilación, poleas para los rastrillos, etc., pueden ser sostenidas de los terminales de los pernos de roca como es ilustrado según las fotografías N° 15 y 16.

La abertura de las galerías son completamente libres y son reducidos el tamaño en un 30% más o menos que cuando se utiliza la madera como medio de sostenimiento.

Utilizando pernos de roca en el sostenimiento de los tajeos, el corte se lleva en forma inclinada como se puede observar en la lámina N° 2. con el fin de obtener mayor eficiencia en el rastrillaje del mineral, y es más fácil el rellenamiento del tajeo en especial cuando el material esté ril es arcilloso; pero sin embargo la experiencia últimamente nos demuestra que muchas veces resulta desventajoso llevar esta clase de corte inclinada debido a que el último corte que sale al nivel superior es un poco deficiente ter

minar con los cuadros cojos; además es menos seguro la circulación del personal, es menos versátil para dejar puentes de rocas estériles que se presentan, el escogido resulta más deficiente. Es por estas razones actualmente se está optando de llevar los tajeos con cortes horizontales, en especial en tajos anchos donde se tiene winches de 10 H.P. de capacidad.

Finalmente el empernado de roca es barato e instalado cómodamente que el enmaderado, aumentando la eficiencia; como será demostrada posteriormente.

## 2.- ECONOMIA

En seguida se hará una comparación, entre el sostenimiento utilizando pernos de roca y la madera.

Para éste estudio se ha tomado los datos de la galería 395 E, nivel 220, en forma aproximada, debido que en el cálculo no intervienen factores como el mantenimiento, y otras de menor importancia.

### A.- Soporte con pernos de roca.

Tamaño de la galería.....	8' x 8'
Avance en 28 días.....	60 ms.
Consumo total de pernos de 6'.....	558
Guardias-hombre de perforación y limpieza.....	120
Guardias-hombre de empernación de alza.....	48

Costo, pernos de 6' con sus planchas, c/u S/37.20.....S/20,757.60  
 Costo, labor de instalación de los pernos, c/u S/5.5.....S/ 3,069.00  
 Costo de barrenos y miscelaneos para huecos de los  
 pernos.....S/ 766.80

B.- Soporte con madera.

Tamaño de la galería.....11' x 9'  
 Avance en 28 días.....29.2 ms.  
 Total de cuadros completos usados.....26  
 Guardias=hombre de perforación y  
 limpieza.....98  
 Guardias=hombre de enmaderado.....70  
 Costo, cuadro completo, c/u S/ 391.23.....S/10,171.98  
 Costo, labor de instalación de los cuadros, c/u  
 S/ 256.50. .... 6,669.00

C.- Comparación.

	Empernado	Enmaderado
Costo del sostenimiento por c/m.....S/ 409.90	S/ 409.90	S/ 576.74
Costo exceptuando sostenimiento por c/m.....	970.00	970.00
	<u>S/1,379.90</u>	<u>S/1,546.74</u>
Metraje por guardia=hombre.....	<u>0.36</u>	<u>0.17</u>

Según estos cálculos, es demostrado que el costo por cada metro de avance es rebajado en un 10% usando pernos de roca como medio de sostenimiento; más aún el metraje

por guardia-hombre aumenta en un 100%.

Comparando las condiciones, según datos recopilados de tajeos sostenidos por madera y los pernos de roca ten dremos:

A. - Sostenidas por madera.

Total de toneladas.....	158,933.00
Costo total de madera.....S/	1'833,570.00
Costo por mes.....	152,793.00
Costo por tonelada, madera solo.....	20.52
Toneladas por guardia-hombre.....	2.32

B. - Sostenida por pernos de alza.

Total de toneladas.....	10,497.00
Costo total de pernos de roca..... S/	115,543.20
Costo por tonelada, perno solo.....	11.00
Toneladas por guardia-hombre.....	3.25

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1a.- Puesto que el mayor porcentaje de la roca ígnea existente en la mina Quiruvilca, está compuesto por la andesita, cuyas características de anclaje en su mayoría es favorable, por tal razón no hay mucha dificultad en generalizar el empernado de roca en las galerías fuera de veta y las cajas de los Tajeos.

2a.- Con el empernado de roca se trata de disminuir o eliminar las caídas de roca originadas por las diferentes causas ya estudiadas, logrando fundamentalmente que el terreno mismo forme parte integral de la estructura de soporte. Esto se consigue con la instalación eficiente del perno de roca, antes que actúe alguno de los factores que puedan originar la caída, porque de lo contrario habrá desplazamiento aún en pequeñas proporciones, afectando la capacidad de contribuir a su propio soporte, es por tal razón que toda abertura se debe empernar lo más antes posible.

3a.- Los principios como trabajan los pernos de roca, es induciendo esfuerzos de compresión entre la superficie y la roca competente a una profundidad igual al del perno; disminuye el pandeo por la transmisión de fuerzas que contrarestan el desplazamiento de las capas de una roca estratificada, for-

mando un bloque sólido; y en muchos casos, aunque no es deseable, trabaja suspendiendo áreas sueltas debido a su anclaje en roca competente.

4a.- Entre los tipos de pernos de roca comunmente utilizadas en las minas, tenemos los expandibles y ranurados; siendo preferible el uso del primero por ser más adaptable a cualquier condición del terreno, además resulta más ventajoso en caso de terrenos blandos por su mejor elasticidad, finalmente es más económico y necesita equipos simples para su instalación

5a.- En la práctica un buen empernado requiere principalmente el conocimiento de las características del terreno y de las propiedades físicas del perno de roca. Además es necesario el mantenimiento de una labor empernada, es decir, chequear las pérdidas de tensión y luego reapretarlos dentro de un programa, así por ejemplo, en el caso de la mina Quiruvilca es necesario el reapretamiento cada 10 meses después de instalado, o, a lo más después de un año, porque pasado ese tiempo es probable que la pérdida de tensión sea demasiado, causando situaciones inseguras.

6a.- Es necesario en áreas empernadas, la vigilancia incansable y un esfuerzo constante por parte del supervisor como de los trabajadores respecto a los procesos de empernado, el apretamiento, la disposición, inclinación, longitud,

espaciamiento de los pernos, etc., dentro de la seguridad y economía; porque en la mayoría de las minas el 90% de las fallas por caídas de roca ha sido como resultado de la deficiencia de los pernos instalados por falta de supervisión.

7a.- En la mina Quiruvilca es recomendable la aplicación de un torque de 175 y 130 pies-libras, según que el perno sea de casquillo expandible tipo standard o de afianzamiento respectivamente. Por lo general el tipo standard es para rocas relativamente duras, mientras que el otro para blandos.

8a.- Según pruebas de jalamiento, se sugiere que un terreno es favorable al sostenimiento con pernos de roca, cuando el indicador del tensiómetro marque 12,000 libras y cuyo desplazamiento del pistón sea de 1/4 de pulgada o inferior.

9a.- Debe evitarse por completo cualquier clase de lubricación en el perno de roca, porque al suministrar el torque estandarizado, aumenta enormemente la tensión en el perno con la posibilidad de excederse del límite elástico, debido a que se le disminuye la fricción del perno contra la tuerca o plancha de apoyo; es por tal razón recomendable la conservación de los pernos en lugares secos. De la misma manera evitar excentricidades de la tuerca respecto a la plancha o placa de apoyo, porque a mayor ángulo de excentricidad ma-

yor será la pérdida de tensión del perno.

10a.- Mejores resultados se ha obtenido en el sostenimiento utilizando pernos con casquillos tipo afianzamiento, que con el standard, en la mina Quiruvilca; sin embargo, se sigue utilizando en mayor proporción los pernos con casquillo estándar, por el motivo de que los de tipo afianzamiento necesitan juegos de barrenos especiales para hacer los huecos de  $1 \frac{3}{8}$  pulgadas de diámetro que es la requerida, el cual aumenta el costo; mientras que en el otro caso sólo es necesario la perforación de huecos de  $1 \frac{1}{4}$  de diámetro, los cuales son hechos con los mismos barrenos utilizados para la voladura.

11a.- No se puede intentar de proponer un procedimiento específico para las pruebas del empernado, sin embargo es aconsejable chequear con una llave de torsión graduada los pernos instalados, o usar el tensiómetro; por lo menos cuando se va a empezar el empernado en las labores de una mina. Estas pruebas conducen a obtener datos para el estudio de las características de anclaje del terreno y de las propiedades físicas del perno, aún más, son métodos completamente claras.

12a.- En el sostenimiento de una labor, el material del empernado puede ser cambiado con facilidad, dependiendo de la condición del terreno.

13a.- Si el empernado de roca ha efectuado su principal objetivo de sostener el terreno con seguridad, se habrá obtenido muchas otras notables ventajas, siendo los más importantes la reducción del costo, aumento de producción y en general la eficiencia superior en el ciclo del minado. Sin embargo el empernado de roca nunca hará que se ausente el enmaderado, puesto que, en algunos casos el enmaderado es el único método práctico de sostenimiento que cualquier otro.

---

B I B L I O G R A F I A

- 1.- The geology and ore deposits of the Quiruvilca District,  
Perú by Richard W. Lewis, Jr.
- 2.- Elementos de minería por G. J. Young.
- 3.- Geología de minas por Hugh Exton Mc Kinstry.
- 4.- Compendio de laboreo de minas por F. Heise- F. Herbst.
- 5.- Elements of mining. Third edition. By Robert S. Lewis  
and George B. Clark.
- 6.- Aspecto económico de las labores en Morococha por J. So-  
lano S.
- 7.- Rock bolts by G. N. Forrester.
- 8.- Rock drill data by E. H. Dickenson.
- 9.- Stelco rock bolts. (Catálogo)
- 10.- Roof bolting practice at Kerr-Addison by J. K. Teal.
- 11.- High strength rock bolting by G.M. Forrester.
- 12.- Theory and practice in tunnel construction and rock  
excavation by Seth D. Woodruff.
- 13.- Causes of structural failure of rocks by Seth D.  
Woodruff.
- 14.- Emisión especial sobre el empernado de roca por la OHIO  
BRASS.
- 15.- Analysis of roof bolting systems based on model studies  
by Louis A. Panek.
- 16.- Anchoraje characteristics of roof bolts by Louis A.  
Panek.

- 17.- Fortificación suspendida o bulonada por Tincelin, Sinou y Leonet. Revista Minería N° 48.
- 18.- Breves notas sobre mecánica de rocas aplicada a la Ingeniería de Minas, por J. Rodriguez C. Revista Minas N° 21.
- 19.- Métodos estadísticos aplicados a la economía y a los negocios por F. Cecil Mills.
- 20.- Iniciación práctica a la estadística por A. Liorzou.
- 21.- Mecánica aplicada al laboreo de minas por Maercks-Ostermann.
- 22.- Circular para mineros N° 52.
- 23.- Mining Congress Journal. Octubre 1958.
- 24.- How to combat fall of rock. Mining's Greatest Killer by Finn B. Domaas.
- 25.- Rock bolting by H. J. Burchell.
- 26.- Timbering and support for underground workings for small mines by W. W. Staley.
- 27.- Special roof bolts applications by Robert F. Bowie.
- 28.- American standard specifications for roof bolting Materials in Coal Mines. Sponsored by American Mining Congress (Agosto 1957).
- 29.- Procesos de instalación de los pernos tipo ranurado por The Colorado Fuel and Iron Corporation.
- 30.- Roof bolting slusher drifts at Climax Molybdenun Company por C. E. Mc Guirre.

- 31.- Rock bolting in metal mines of the Northwest por  
Lloyd Pollish and Robert N. Breckenridge.
- 32.- New Look at Long-term anchorage: Key to roof bolt  
efficiency. Mining engineering. By Robert Stefanko.  
(May. 1962).
- 33.- Theory and practice of rock bolting by Howard K.  
Schmuck.