

Universidad Nacional de Ingeniería

**Programa Académico de Ingeniería Geológica,
Minera y Metalúrgica**



**Estudio del Sistema de Empernado de
Roca en la Mina Quiruvilca**

**Tesis para optar el Grado de
INGENIERO EN MINAS**

Raúl Antonio Yampi Bazán

Promoción 1968

LIMA - PERU

1973

A MIS PADRES

A MIS HIJOS

INDICE

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	7
1.- GENERALIDADES	10
1.1. Situación y Ubicación	10
1.2. Aspectos Geológicos	11
1.3. Sistema de Trabajo	12
2.- ALGUNOS FACTORES QUE OCASIONAN LAS FALLAS ESTRUCTURALES DE LA ROCA	14
2.1. Voladuras	15
2.2. Expansión Elástica	16
2.3. Acción Química	17
2.4. Peso de Roca Suprayacente	17
2.5. Falla de Tensión	18
3.- CONSIDERACIONES TEORICAS	20
3.1. Esfuerzos en Pernos de Anclaje	22
3.1.1. "Torque"	22
3.1.2. Capacidad de Anclaje	23
3.1.3. Tensionamiento del Perno	24

	<u>Pág.</u>
4.- ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS DE EMPERNADO	
EMPLEADOS	28
4.1. Taladro	28
4.2. Barra o Perno	30
4.3. Plancha	30
4.4. Caparazón o Mariposa	32
4.5. El Anclaje	33
5.- RESULTADO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	35
5.1. Relación "Torque"-Tensión	36
5.2. Colocación del Perno en el Terreno	38
5.3. Efectos Producidos por Voladuras	39
5.4. Efecto Producido por el Tiempo	40
5.5. Pruebas de Extracción	41
5.5.1. Elongación Aproximada del Perno	41
5.5.2. Característica del Anclaje	42
6.- EFICIENCIA DEL EMPERNADO DE ROCAS	
7.- ESTUDIO REALIZADO CON PERNOS EN PRUEBA	51
8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59

APENDICE I

Cálculo Estadístico para hallar las Relaciones de los Gráficos: 1, 2, 3 y 4	61
--	----

APENDICE II

1. Especificaciones Estandard de los Pernos de Anclaje	69
2. Pruebas de la Relación Torque - Tensión (efectuados por la Bethlehem Steel)	72
3. Tabla de Composiciones del Acero (dada por la SiderPerú)	74
BIBLIOGRAFIA.	77

INTRODUCCION

El siguiente trabajo es un estudio práctico del uso, del PERNO DE ROCA.

Para el sostenimiento en Mina, además de la madera que es empleada en lugares de gran descomposición y en fallas, etc., se emplea también el perno de roca ("rock bolt") en los lugares donde la roca presenta mejor consistencia; este último sistema de sostenimiento ha incrementado la eficiencia del minado, debido a su menor tiempo de instalación, manipuleo y obtenerse una mayor área de trabajo.

En la elección apropiada del sostenimiento con pernos de roca es necesario hacer estudios previos, los cuales nos han de conducir al conocimiento de la capacidad de carga que puede soportar el perno, esta carga está en función de las características propias de la operación de empernado y de la roca que le prevee al anclaje del perno, esto nos da una pauta para evaluar si el perno cumple con los requerimientos necesarios para dar un sostenimiento seguro de las labores subterráneas. Dando así un conocimiento de las propiedades presentada por el perno, analizando todos sus elementos en las pruebas efectuadas.

Los ensayos efectuados tienen una confianza entre el 90% y 95%, lo cual nos permite estar dentro de las normas de seguridad.

Los pernos que se emplean son de la "Bethlehem Steel" de 1.83 m. (6 ps.) y 1.22 m. (4 ps.) de longitud y con un diámetro de 1.59 cm. (5/8"), los cuales para el año de 1971 se han consumido 97,771 unidades.

En el mes de Febrero de 1972 se tiene un consumo de 10,204 pernos, con un promedio de 5.63 pernos por metro de avance en Desarrollo, y una relación de 0.30 pernos por tonelada corta seca producida en la Mina Quiruvilca.

Agradezco la autorización para poder realizar este trabajo al Ingeniero Walter Eberhart, Superintendente de

Mina; a la cooperación del Ingeniero Julio Solano S. y al asesoramiento de los Ingenieros Fidel Ramírez y José Candia, para el confeccionamiento de este estudio.

1.- GENERALIDADES

1.1. SITUACION Y UBICACION

La Mina Quiruvilca, está situada en el Departamento de La Libertad, Provincia Santiago de Chuco, Distrito de Quiruvilca, al Norte del Perú Central.

Se encuentra ubicada según las Coordenadas Geográficas:

Latitud Sur : 8º 00' 57"

Longitud Oeste de Greenwich : 78º 20' 37"

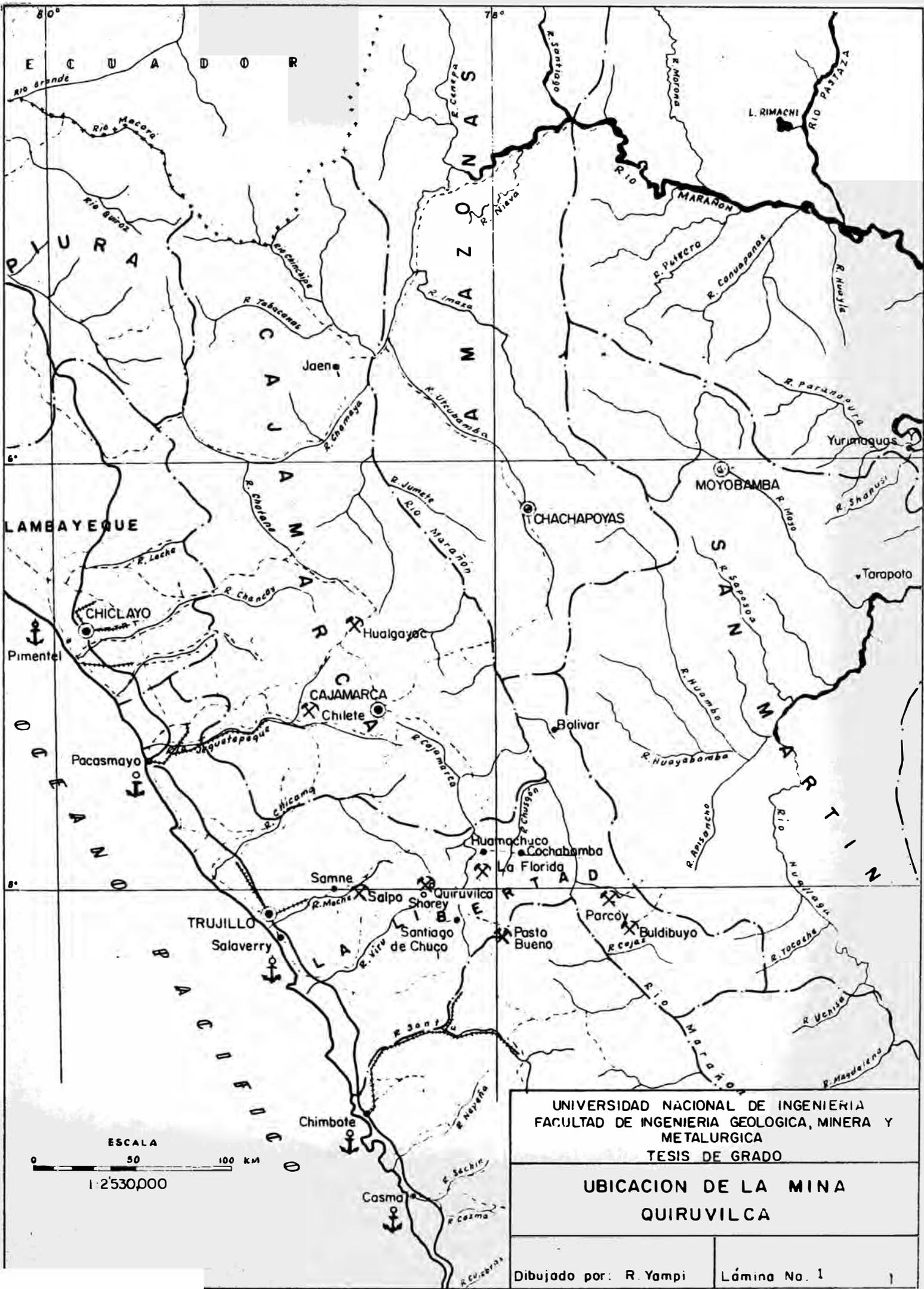
La altitud varía desde los 3,400 m. hasta los 4,000 m. sobre el nivel del mar, con una presión absoluta promedio de 0.625 Kg/cm^2 . Como vía de comunicación está dada por una carretera de penetración a 125 Km. desde la ciudad de Trujillo (lámina 1).

1.2. ASPECTOS GEOLOGICOS

Quiruvilca se encuentra en una zona de Rocas Volcánicas Andesíticas y Basálticas de apariencia estratificadas, las cuales han sido instruidas por: una inyección Andesítica y por numerosas chimeneas de brechas.

El yacimiento puede clasificarse en dos zonas, siendo la primera de Cobre y la segunda de Plomo y Zinc, existiendo una zona de transición (lámina 2), actualmente nos encontramos en la zona de transición (Cu-Pb-Zn) y de Plomo-Zinc, el depósito mineralizado ha sido determinado como mesotermal y epitermal, estos se han formado por relleno de las fisuras (fracturas y fallas). La mineralización siguió un sistema pre-existente de fracturas de tensión y corte, formando un enrejado oblicuo bien definido.

Según la geología presente, nos muestra que en las intersecciones de las vetas (fallas) se presenta bastante alteración, lo cual hace de ésta una zona en la cual los pernos no son convenientes para el sostenimiento, en



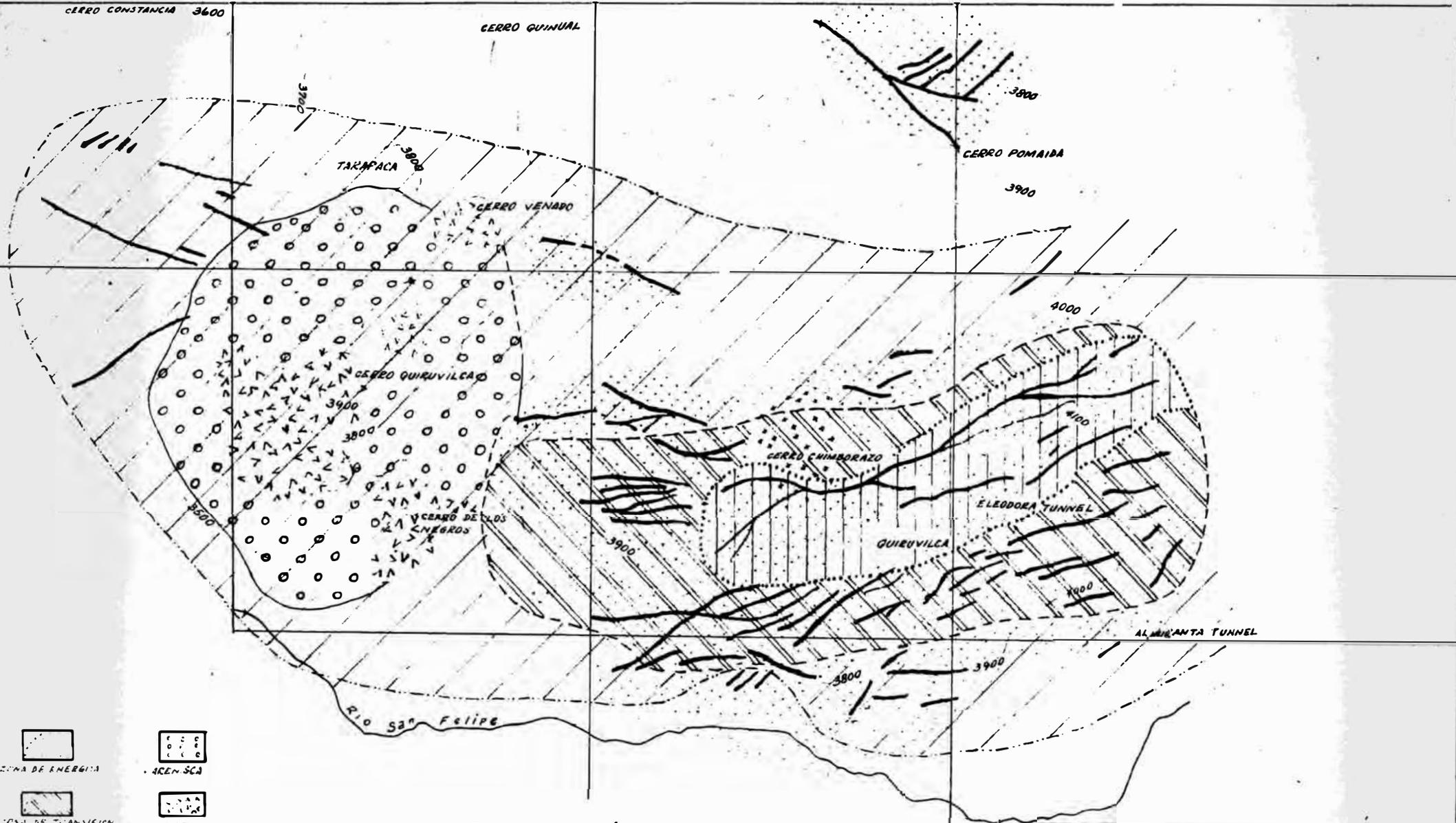
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
 METALURGICA
 TESIS DE GRADO

**UBICACION DE LA MINA
 QUIRUVILCA**

Dibujado por: R. Yampi Lámina No. 1

CERRO CONSTANCIA 3600

CERRO QUINUAL



-  ZONA DE ENERGIA
-  ACENSCA
-  ZONA DE TRANSICION
-  DACIA
-  ZONA DE ELUACION
-  INTENSIVO ANDESITICO
-  ZONA DE ESTERINA
-  VOLCANES ANCESTICOS
-  ZONA DE INTENSA ATRACCION
-  BASALICO

Escala en Kilómetros



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA
 TESIS DE GRADO

GEOLOGIA GENERAL
REGION QUIRUVILCA

Dibujado por: R. Yamp Lámina No. 2

estas zonas es donde se presenta vetas de altas leyes en Cobre, Plomo y Zinc. De la roca encajonante se ha obtenido un peso específico que varía entre 2.0 a 2.6 y de la parte mineralizada un peso específico entre 3.1 a 3.6 (obtenido de las mediciones efectuadas en los labores de trabajo, comparando con los tonelajes ajustados provenientes de la concentradora).

1.3. SISTEMA DE TRABAJO

La Mina actualmente puede ser considerada en tres Sectores: el Sector Almiranta, el Sector Elvira o Central y el Sector Graciela; estas denominaciones han sido tomadas de acuerdo a la situación de los Piques.

- El Pique Almiranta, con una profundidad medida desde el collar, de 512 m. el cual está conectado al nivel denominado 220, bajo este nivel se encuentra en desarrollo otro nivel con miras de exploración.

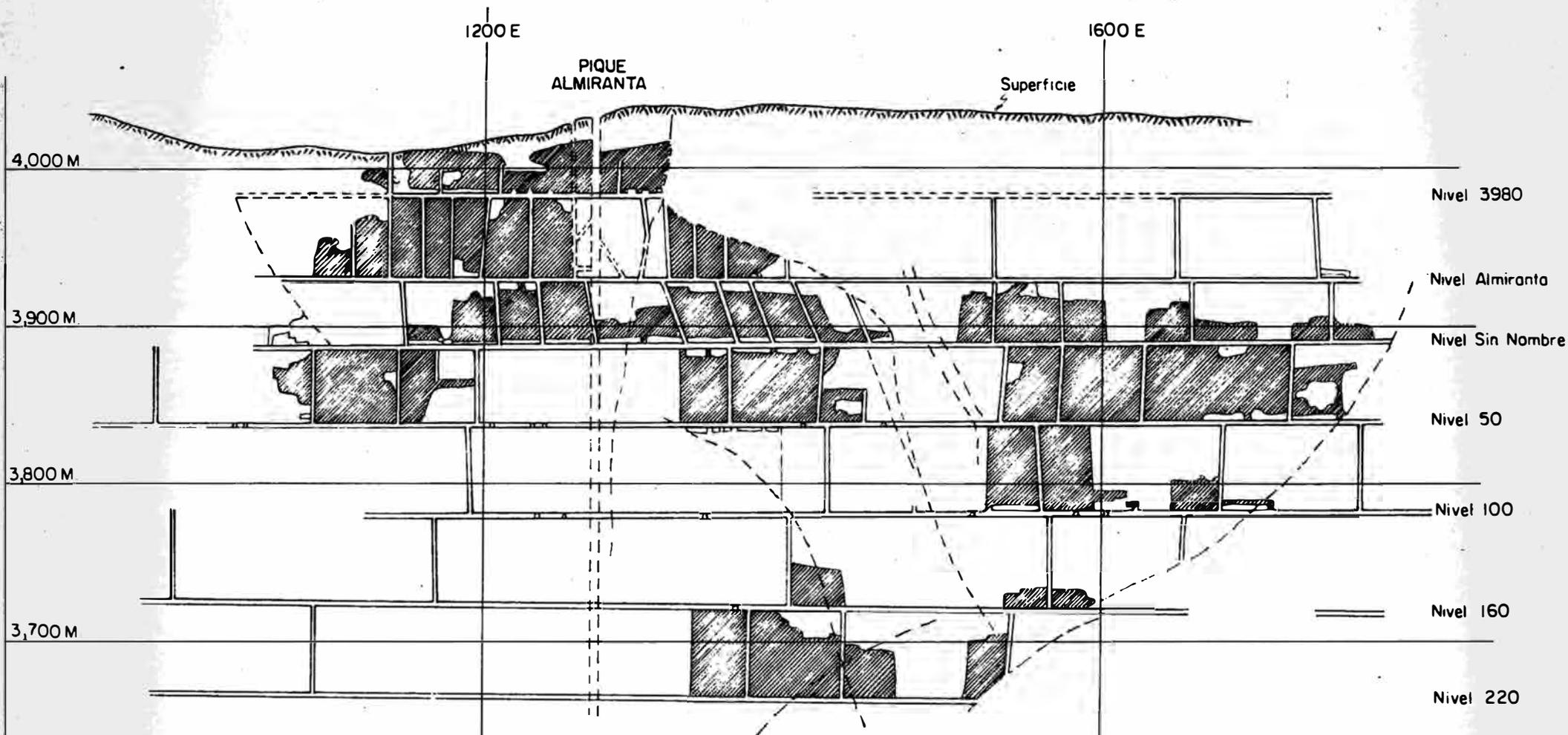
- El Pique Elvira, o Central, con una profundidad de 306 m. también se encuentra conectado al nivel 220.

- El Pique Graciela, con una profundidad de 347 m., no se encuentra conectado al nivel 220, concluye a 40m. aproximadamente por encima de este nivel.

El método empleado para la explotación del depósito mineralizado es el de "CORTE Y RELLENO", el cual es

llevado en forma convencional, los niveles son divididos cada 60 m., los Tajos tienen una longitud de 30 a 40 m., con respecto al sostenimiento se emplea la madera, el perno de roca y en forma combinada de ambos elementos; en la explotación de los tajeos el volumen de mineral roto representa alrededor del 65% (en algunos casos) y el volumen de cajas rotas que sirven para rellenar es del 35%, el resto del espacio para rellenar, se emplea desmonte de las galerías en desmonte, del enmaderado, de la superficie, etc., en el tajo se rellena el 86% del disparo abierto (láminas 3, 4, 5).

El nivel principal de extracción es el denominado 220, en el cual para poder cumplir con la extracción de mineral se cuenta con tres motores diesel de 80 HP, un motor AGV (tipo DHL-60) de 100 HP y un motor a batería de 60 HP.

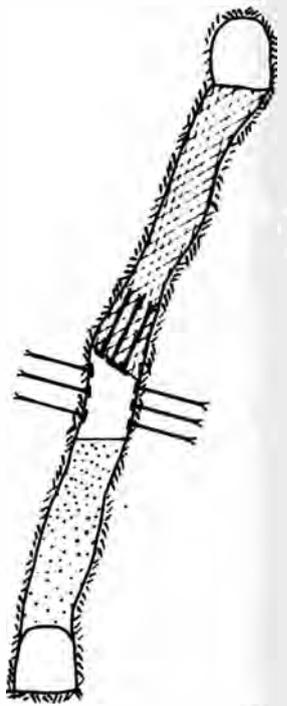
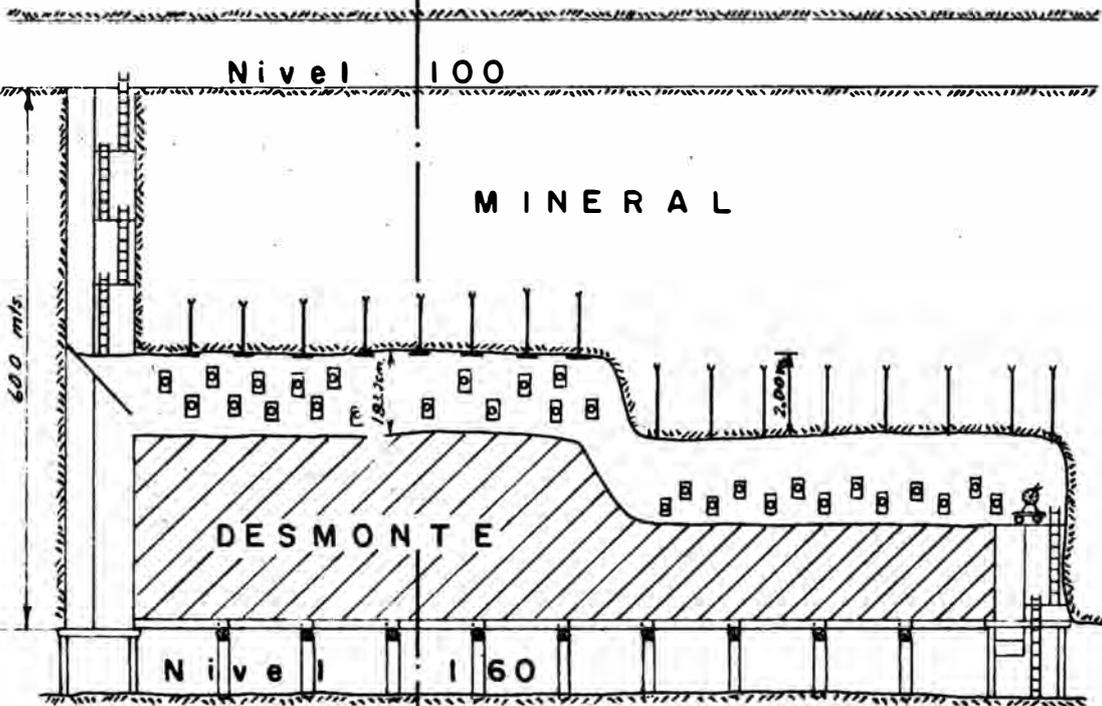


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
 METALURGICA
 TESIS DE GRADO

**SECCION LONGITUDINAL
 VETA ALMIRANTA**

35.0 mts.

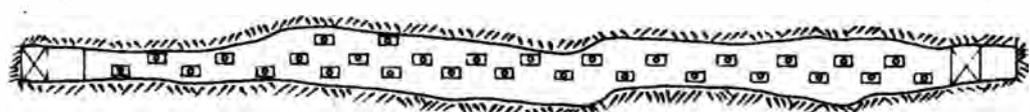
A



SECCION A - A

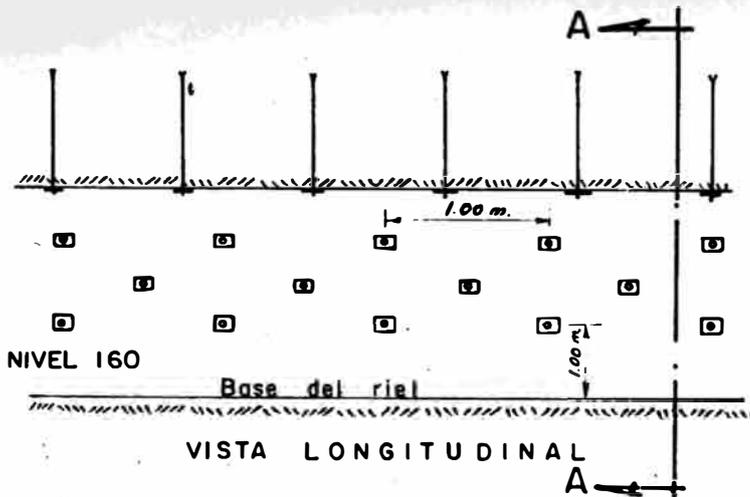
A

VISTA LONGITUDINAL

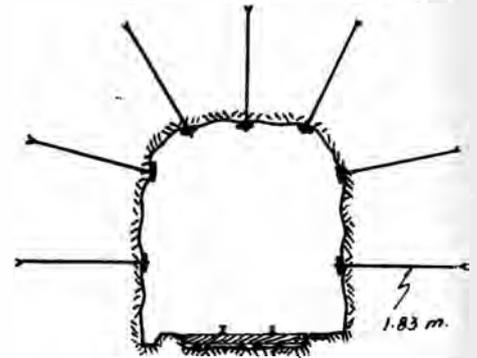


VISTA EN PLANTA

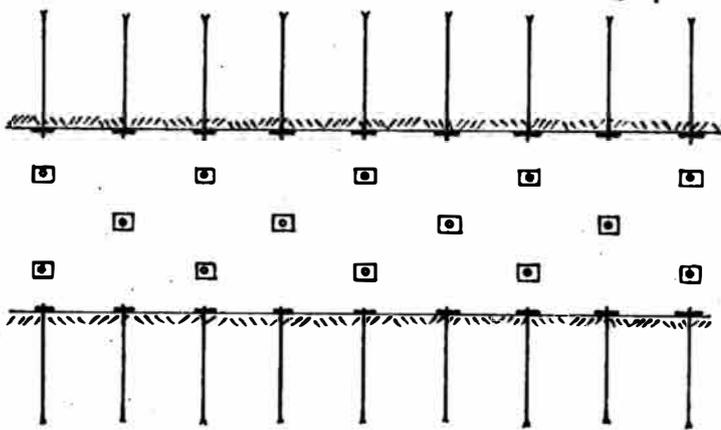
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA TESIS DE GRADO	
EMPERNADO EN TAJOS	
Dibujado por: R. Yampi	Lamina No. 4



VISTA LONGITUDINAL



SECCION A - A



VISTA DE PLANTA

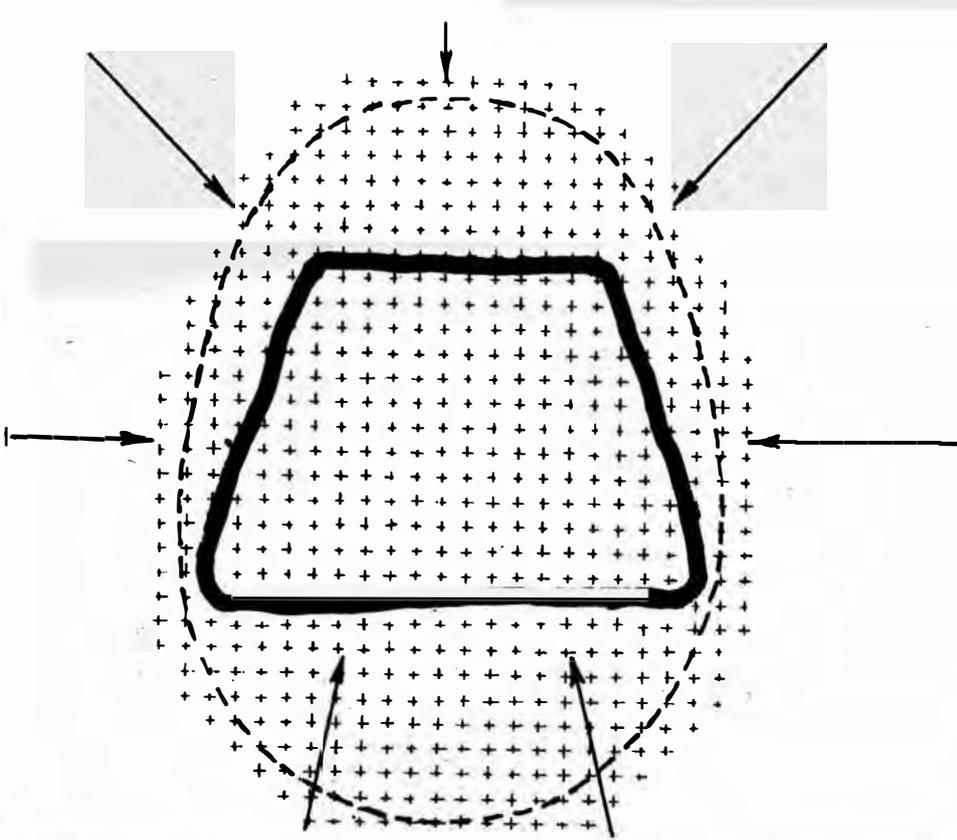
FRENTES	SECCION	AREA M ²	Factor de Esponjamiento	Volumen roto por metro de avance M ³
STANDARD	1.98 x 1.83	3.62	1.4	5.07
ESPECIAL	2.13 x 1.98	4.22	1.4	5.91
SUPER ESPECIAL	2.29 x 2.29	5.24	1.4	7.34

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
 METALURGICA
 TESIS DE GRADO

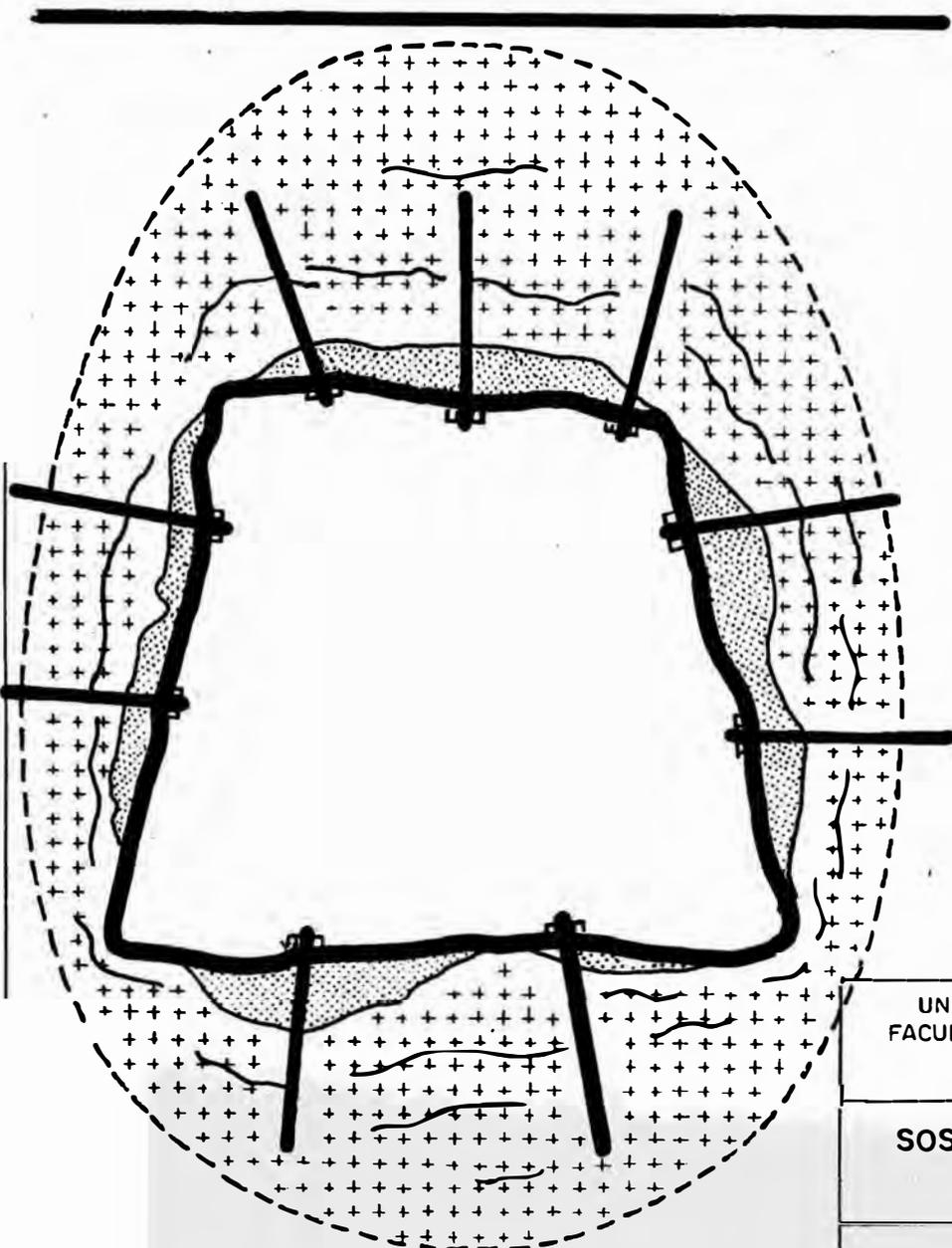
EMPERNADO EN FRENTES

2.- ALGUNOS FACTORES QUE OCASIONAN LAS FALLAS ESTRUCTURALES DE LA ROCA.

Estas fallas inciden en la caída de roca dentro de las labores, de las cuales la mayor causa obvia es la descomposición y fracturación, existentes antes de la excavación. Sin embargo, otras fuerzas están presentes en el trabajo tendiendo a destruir la resistencia de la roca que circunda la cavidad realizada (ver 16). Cada una de éstas están descritas en orden, explicando como los pernos pueden evitar estas fallas (lámina 6).



EFECTOS ANTES
DE LA
ABERTURA



ABERTURA
EMPERNADA

(COPIADO, DE BOLETIN DE
CELTITE, INC. RESIN ANCHOR)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA
TESIS DE GRADO

**SOSTENIMIENTO POR EMPERNADO
EN ROCA MASIVA**

2.1. VOLADURAS

Cualquier abertura realizada con el empleo de ex plosivos produce una fracturación de la roca, además, de aflojar el perímetro de la abertura, acentúa los efectos de deformación de la roca en relación al área de efecto. La aplicación instantánea de esta presión, impulsa a un in cremento de presión en la proximidad del disparo lo cual da por efecto el quebrantamiento de la roca y su posterior desplazamiento. A esto acompaña la onda de vibración. El primero impulsa al incremento de compresión seguido por un completo decrecimiento del esfuerzo normal de una nueva su perficie. Puede también hacer decrecer la presión de agua en las grietas.

Otro efecto por voladura de gran importancia, don de hay discontinuidades, aberturas continuas o grietas a- biertad (formaciones), es que la onda compresiva recorre exteriormente, desde el núcleo explosivo, y es reflejada a la superficie libre como una onda de esfuerzo, la roca in- terior de la superficie libre es fracturada en capas por el esfuerzo de tensión reflejado (ver 19). Consecuentemente, no es raro hallar una superficie agrietada las cuales se profundizan, a partir de la misma superficie, aunque la masa de roca no haya sido desplazada. Para evitar esta fa lla el perno debe ser empleado después de cada disparo que

se realice, evitando así todos estos desplazamientos.

2.2. EXPANSION ELASTICA

La mayoría de las rocas, bajo superficie, tienen esfuerzos inherentes, que fueron creados por la temperatura, presiones y deformaciones hechos en el curso de su historia geológica. El efecto general de estos esfuerzos causa la expansión de la roca ligeramente hacia cualquier abertura realizada bajo la superficie. Una superficie libre, plana puede expandirse sin fracturarse, la roca, alrededor de una abertura subterránea es confinada y no puede expandirse libremente o puede ser que los esfuerzos inherentes no sean iguales en todas las direcciones. Por esta razón la roca se expande de diferente forma en todos los puntos del perímetro.

Si la roca es competente sin fractura, entonces ésta expansión elástica puede provocar en dicho perímetro "una roca explosiva" o "deformación explosiva" con violenta fragmentación. El efecto más importante, es la de crear nuevas fracturas, incluyendo una separación notoria y agrietamientos los cuales permiten la penetración de la humedad y aire. La acción del perno en este caso será la de mantener en forma casi constante, la compresión que ejerce el sistema de empernado a la roca.

2.3. ACCION QUIMICA

Ciertas rocas o minerales absorben agua, mientras que otras reaccionan con el agua u oxígeno, debilitando la roca a lo largo de grietas y uniones causando la salvanda o "gouge" y en otros creando soluciones, como el Sulfato de Cobre, es el caso de esta Mina, los cuales inciden negativamente en el sostenimiento, los pernos pueden prevenir este tipo de falla, en parte, pues al estar instalados crean una zona de compresión uniforme. La presión contra la roca previene la acción química progresiva en la roca a lo largo de las fracturas. Para la estabilización de la roca, bajo estas condiciones; los pernos necesitan solamente ser lo bastante largos para alcanzar a través de la zona alterada a una zona competente, muchas veces esta deterioración química se produce al reaccionar el sulfato con el perno creando así una falla.

2.4. PESO DE ROCA SUPRAYACENTE

En la masa rocosa hay fuerzas importantes que causan fallas a grandes profundidades, las cuales son, esfuerzos creados alrededor del perímetro de la abertura, debido al peso de la roca que se encuentra sobre la abertura, estos esfuerzos son visibles en las rocas no competentes,

hasta cierta profundidad. Pero si la roca es competente, lo suficiente como para autosostenerse, entonces no son visibles estas características, en ambos casos éstas fuerzas están presentes. El terreno no varía en forma directa con la profundidad. La acción del empernado, es que esté bien establecido de acuerdo a un sistema de empernado.

2.5. FALLA DE TENSION

Cuando se produce una falla, la roca ordinariamente fallará por tensión en el alza y piso de la abertura, pues el esfuerzo de tensión en las cajas es solamente una pequeña fracción de su esfuerzo de rotura (ver 22).

Al producirse una falla de tensión, se formará una bóveda de descarga común de todas las aberturas debido a la caída de roca. De acuerdo a Shoemaker (x), la altura de la zona en la cual está presente el esfuerzo de tensión en la roca, depende de la razón de Pisson's y es independiente de la profundidad. Bajo condiciones promedios la zona de tensión se extiende a distancias iguales alrededor de 1/4 del diámetro del túnel. Si la roca fallara en el arco, puede ésta estar ligada por los pernos para así prevenir posibles fallas presentadas por defectos estructurales y acciones de esfuerzos remanentes. En los casos de

(x) Dentro de una Hipótesis estudiada, para el caso de esfuerzos en Tensión.

fallas de este tipo es recomendable el uso de pernos de longitud casi igual al radio del túnel, p.e., en un túnel de 2.44 m. de radio se emplean pernos de 1.52 m. a 1.83 m. de largo, los cuales cumplirán con la condición de sostenimiento.

Se puede considerar en este capítulo el factor tiempo que también influye en la caída de roca.

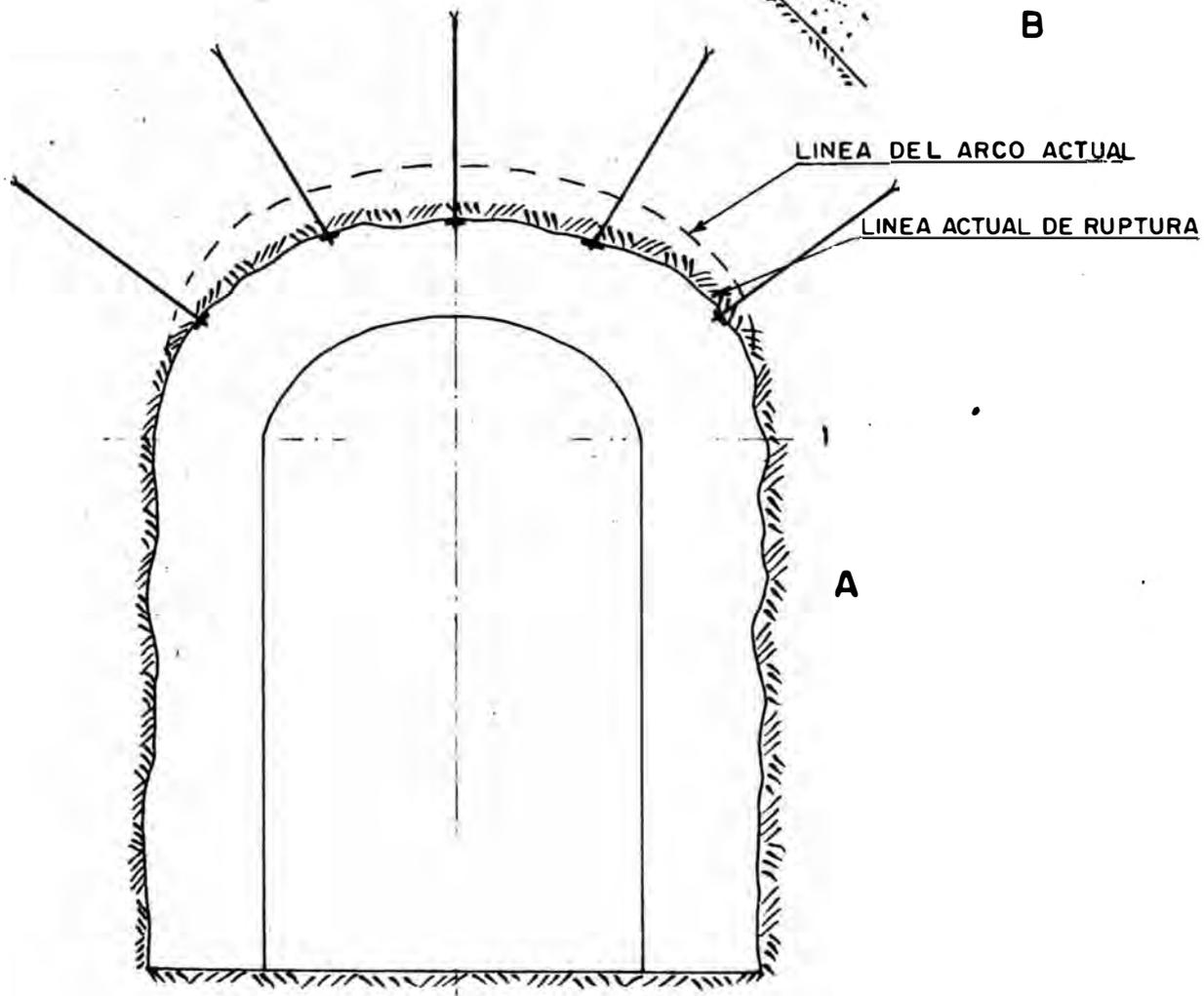
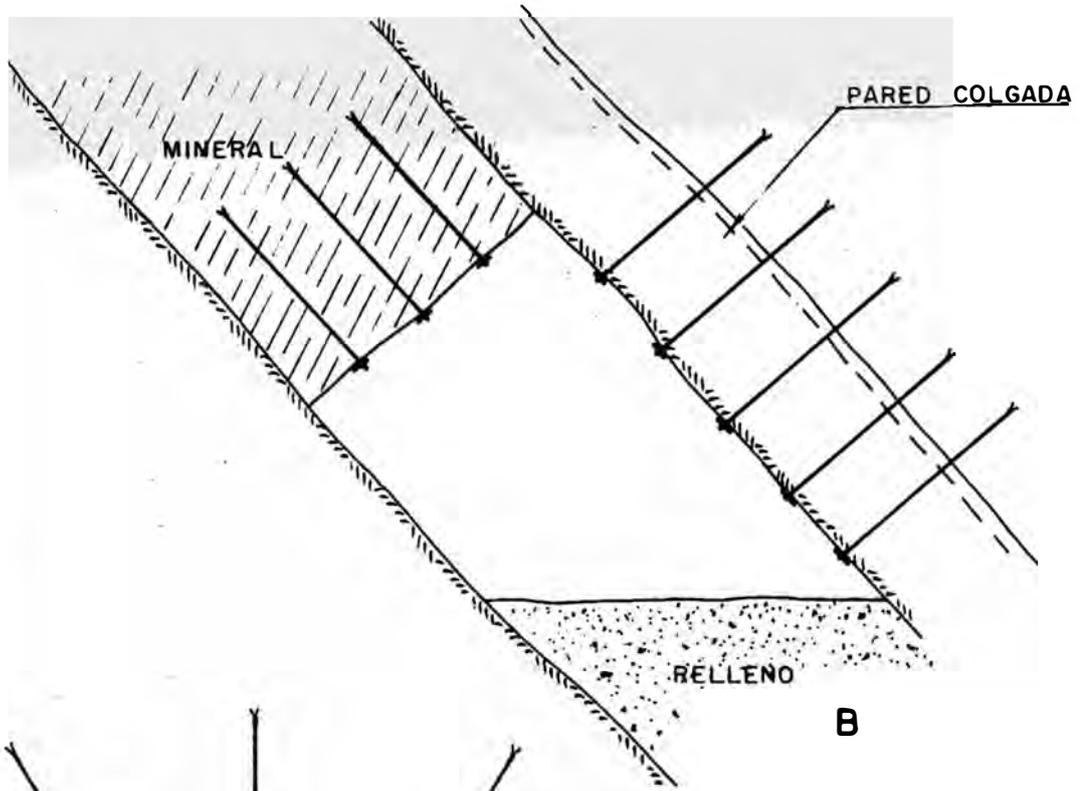
3.- CONSIDERACIONES TEORICAS

En la Mina Quiruvilca se emplean los pernos de anclaje, sobre las siguientes bases teóricas (ver 22):

1. Reforzamiento de una abertura diferente a la autoestable, esta se aplica en los frentes seguidos en venta o desmonte. Lámina 7 (a).

2. Refuerzo de las paredes contra los esfuerzos cortantes y de compresión, esta es aplicada en los tajos. Lámina 7 (b).

Además del uso de estas teorías como concepto para el sistema de empernado, es necesario conocer otras pro



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
 METALURGICA
 TESIS DE GRADO

TEORIAS DE EMPERNADO

Dibujado por: R. Yampi

Lámina No. 7

pie³dades que incidan en la función o acción de un perno cuando se encuentra instalado.

Cuando se realizan labores subterráneas como túneles, tajeos, chimeneas, etc., se rompe el equilibrio existente en el y es conocido la existencia de una zona de perturbación de la distribución de los esfuerzos, esta puede manifestarse como una fracturación de menor o mayor intensidad, al efectuarse desplazamiento de las paredes en la cavidad, estas ya no son capaces de autosostenerse, en este paso incide, la clase de roca, dicha fracturación se debe a la fuerza de cizallamiento, la cual es máxima en la periferie.

En los pernos hay una pequeña área sujeta a tensión, la cual consigue su máximo valor en medio de los dos pernos.

Al emplearse los pernos en el sostenimiento, presenta los siguientes efectos (ver 18):

1. Una zona radial de compresión en la roca, la cual se forma debido al perno tensionado.

2. Un esfuerzo compresivo circunferencial. Esto resulta de la tensión de los pernos, la cual hace que el material comprimido tienda a expandirse lateralmente. Como ésta tendencia es restablecida, la compresión es inducida en ángulo recto a la dirección del perno.

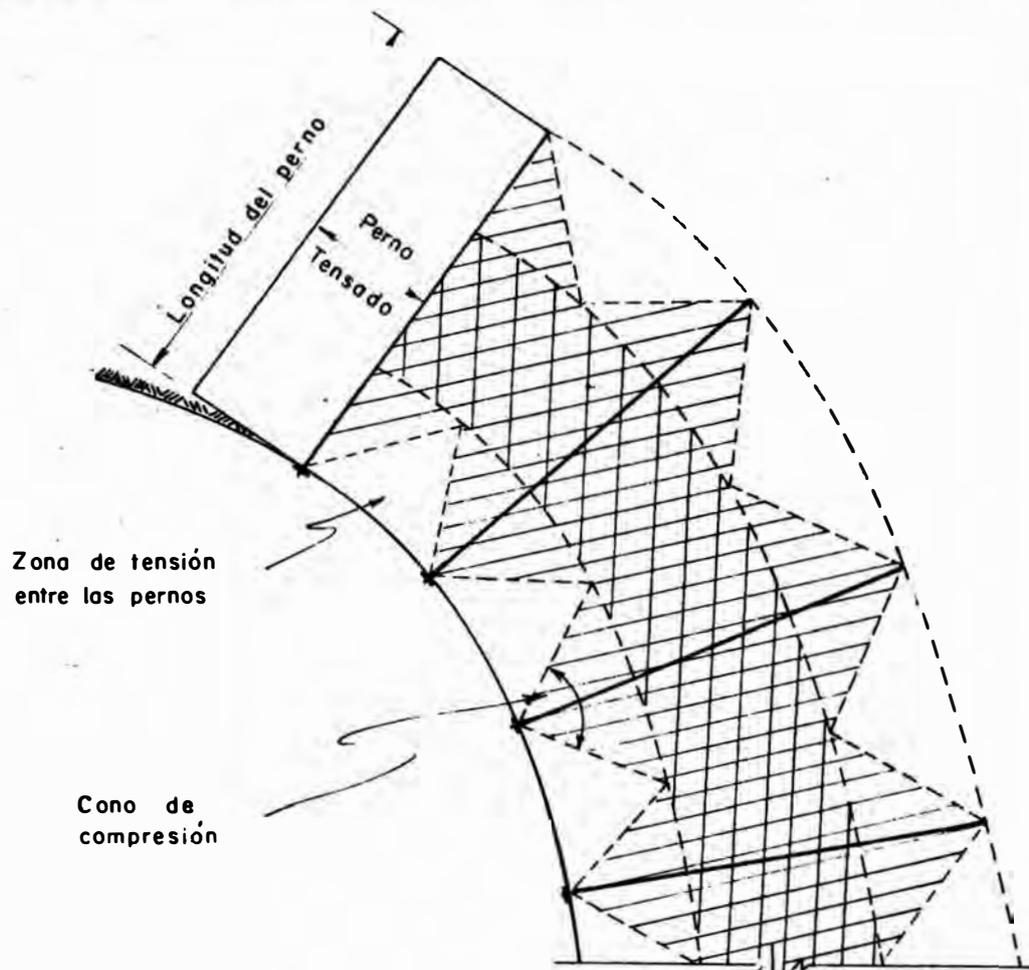
3. La deformación de la superficie de excavación es restablecida, previniendo movimientos hacia la abertura, particularmente cuando el perno es instalado después de la voladura. Si este período, es lo más corto posible, se evita la relajación de una gran proporción de la deformación causada en la roca por las condiciones naturales de esfuerzo. Estos efectos implican que, cada uno en o casi inmediatamente detrás de la superficie libre, los pernos forman un diagrama del material. El espesor de la zona de esfuerzos perturbadores debe ser menor al largo del perno. Al ser este mayor que el diagrama, creará una zona de autoestabilización (lámina 8).

3.1. ESFUERZOS EN PERNOS DE ANCLAJE

3.1.1. "Torque"

Al aplicarse el torque a un perno con una llave, este hace que la cuña descienda haciendo que la mariposa se expanda, en esta parte, las ranuras de la mariposa tienen a ser forzadas contra las paredes del taladro formando así el anclaje del perno, junto a esta acción se obtiene el ajustado de la tuerca contra la plancha aplicando una presión a la pared de dicha superficie.

El "torque" que se debe emplear en el empernado estará de acuerdo a pruebas realizadas con el perno en fun



Zona de tensión
entre los pernos

Cono de
compresión

OBSERVACION:

La existencia continua del anillo de roca comprimido depende de la existencia continua de la carga a lo largo de toda la longitud del perno.

ZONA DE ESFUERZO EN LA ROCA
CREADA POR LA TENSION DE LOS PERNOS

(GRAFICO OBTENIDO DE SOCIETY OF MINING
ENGINEERS VOLUMEN 229, 1964 PAG.389)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA
TESIS DE GRADO

ZONA CREADA EN EL TERRENO
POR LOS PERNOS TENSIONADOS

Dibujado por: R. Yampi

Lámina No. 8

ción al tipo de acero, y a la clase del terreno, p.e., si fueran empleados torques más altos (valor) de los recomendados, en terrenos no muy competentes se perdería el factor de recuperación de la tensión. También tener en cuenta la "oxidación" que puede presentarse entre los elementos del perno, esto daría como resultado la torsión de la barra, afectando adversamente a la carga producida por éste y además en resultados de las pruebas efectuadas con estos pernos.

El factor que incide y afecta el torque, el cual se expresa en Kg-m. (lb-ps), es el efecto de fricción (ver 20), y que se presenta en (láminas 9 y 10):

1.- Anclaje:

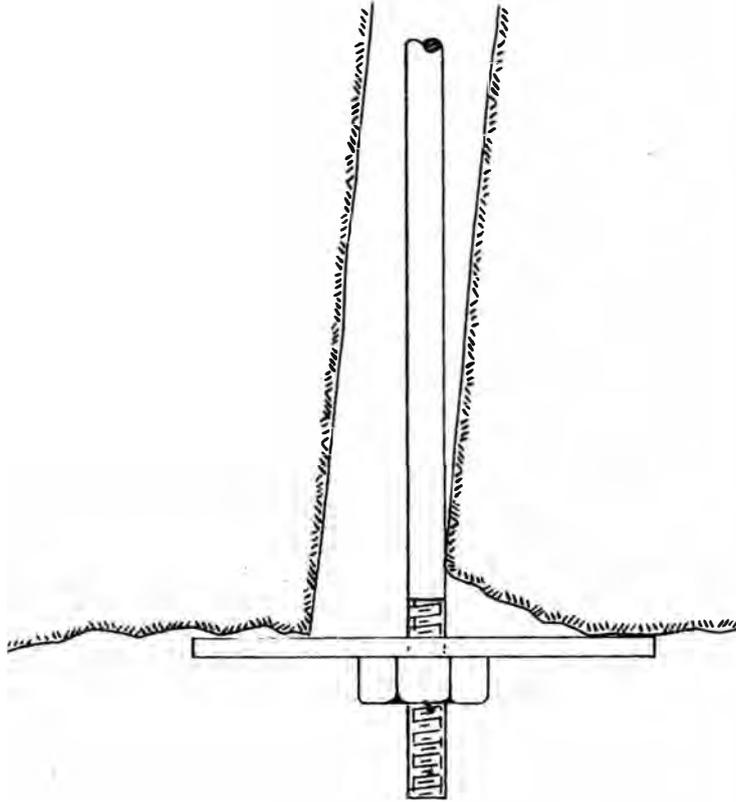
- a) Roca - Mariposa.
- b) Ranuramiento de la Barra - Ranuramiento del Tarugo (cuña).

2.- Zona de Apoyo:

- a) Tuerca - Placa.
- b) Ranuramiento de la Tuerca - Ranuramiento de la Barra.

3.1.2. Capacidad de Anclaje

Esta determinada por el anclaje del perno. La

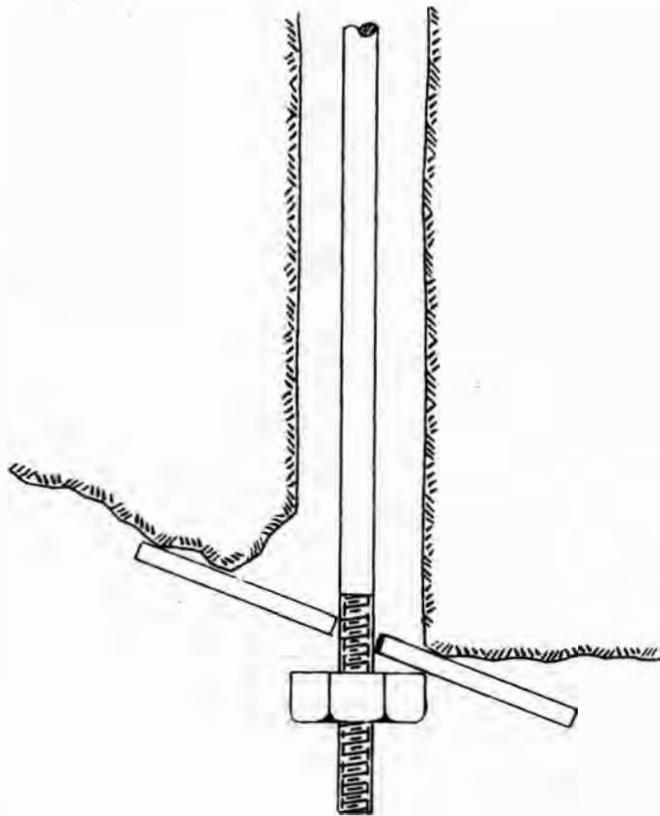


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA
TESIS DE GRADO

**CONTACTO DE LA BARRA CON LA
PARED DEL TALADRO**

Dibujado por R. Yampi

Lámina No. 9



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA

TESIS DE GRADO

CONTACTO DE LA PLACA CON LA BA-
RRA Y LA TUERCA

Dibujado por . R. Yampi

Lámina No. 10

carga a tensión que éste es capaz de resistir, depende de varios factores incluyendo el tipo de roca en la zona del anclamiento, el tipo de perno usado, diámetro del taladro y la tensión inicial aplicada.

La capacidad del perno instalado debe ser igual a la mitad de su límite elástico, si la roca tiene una resistencia casi igual o superior a la del perno, el sistema de empernado es aceptable, si esta fuese menor no sería recomendable.

Un pequeño deslizamiento del perno se debe a la composición elástica de la roca en los surcos y no a un deslizamiento entre las ranuras de la mariposa y los surcos.

Las pruebas que se realizan con los pernos para observar su capacidad de anclaje, son realizadas bajo las condiciones actuales de la mina, así se podrá evaluar su capacidad total de anclaje.

3.1.3. Tensionamiento del Perno

Este es un efecto producido por el "torque" aplicado al perno en su instalación.

Cuando se emplean llaves de torsión de mano (cachimba) se considera que el coeficiente de fricción dinámico es menor que el estático. Por lo tanto una tuerca ajustada a un determinado torque, con una serie de movimientos

angulares produce una tensión menor que la que resultaría de una rotación continua, que sería dado en este caso por una empernadora neumática. Cuando se usa una llave "cachimba", una persona solo puede aplicar como promedio 19.4 Kg-m. (140 lb-ps), y el torque recomendado es de 23.5 Kg-m. (170 lb-ps), dado por una empernadora.

Al aplicarse la tensión a un perno, se considera que la tensión inicial más la carga que se presenta posteriormente no debe exceder el límite del acero, es por eso que la tensión dada a un perno debe ser relativa a la carga de rotura del perno, cuyo valor está sujeto a las pruebas realizadas.

En la práctica al ajustarse un perno, se tiene dos resultados en forma simultánea: 1) Fijar a la roca el extremo de la mariposa de expansión del perno; 2) Tensar la barra del perno entre la tuerca y la mariposa. Esta tensión dada al perno causa compresión en la roca y éste es uno de los efectos del perno que induce a un autosostenimiento en la masa rocosa.

Pruebas realizadas, en terreno homogéneo, de esfuerzo han demostrado que el perno desarrolla una zona de compresión uniforme entre los extremos del perno (lámina 8).

La disminución de la tensión, es un problema que hay en el empernado, para lo cual se hace imperioso un in-

dicador audible o visual, estos no son empleados en la Mina Quiruvilca, el comprobador en este caso más práctico puede ser una llave "torque". Como posibles causas de la pérdida de tensión se tendrá, al tensionamiento insuficiente de los pernos, mala alineación de las placas en los pernos, en relación al eje del perno y al uso incorrecto de las placas.

Además se puede considerar como causas de la pérdida de tensión a (ver 20):

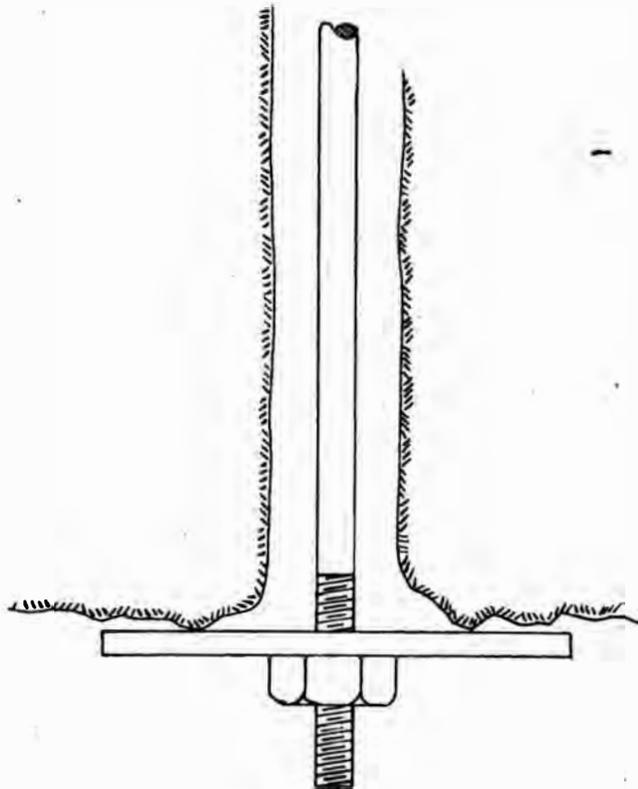
1. Movimientos en los puntos de anclaje:

- a) Perforación del hueco con diámetro en sobremedida.
- b) Ranuramiento de las paredes del taladro.
- c) Impacto u ondas de choque de un disparo cercano.
- d) El gradual desmoronamiento de la roca (taladro) en contacto con la mariposa.
- e) La gradual reorientación de los estratos alrededor de la excavación como resultado inherente de esfuerzos y deformaciones.

2. Movimiento de la parte exterior del perno con

respecto al anclaje (lámina 11).

3. Expansión del perno debido al cambio de temperatura después de su instalación.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA
TESIS DE GRADO

MAL CONTACTO, AL DESMORONARSE
HAY DESPLAZAMIENTO DE APOYO

Dibujado por: R. Yampi

Lamina No. 11

4.- ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS DE EMPERNADO EMPLEADOS

El sistema de empernado, está formado por cinco elementos fundamentales: El Taladro perforado, la Barra o Perno propiamente dicho, la Plancha o Placa, la Caparazón o Mariposa, y el Anclaje. A continuación analizaremos cada uno de los elementos nombrados.

4.1. TALADRO

La perforación del taladro debe ser lo más perfecta posible, ya que de ello depende la eficiencia del an

claje de un perno.

Los taladros son hechos con el mismo equipo de perforación existente en la Mina, y para ser más explícito, contamos con los siguientes tipos de perforadoras: Ingersoll Rand modelos JR38C y R300A; Atlas Copco modelo BBC; y equipo 53-T25 de origen Francés; las máquinas "stoper" generalmente no son usadas.

Por lo general las máquinas perforadoras son usadas con una presión promedio de aire entre los 5.98 a 6.33 Kg/cm² (85 a 90 lb/pulg²), con respecto a la presión del agua alcanza como promedio 3.48 Kg/cm² (50 lb/pulg²), la cual es suficiente para evacuar el "detritus" que se forma en el taladro durante la perforación, evitando presentar a la mariposa zonas sueltas que pueden dar un deslizamiento no deseado.

Con respecto a las barrenas, a cada labor se le da un juego de barrenas exclusivamente para la operación de empernado, se usa barrenas Integrales Coromant de 2.22 cm. (7/8") hexagonal, que dan un diámetro final de 3.17 cm. (1 1/4") lo cual hace posible el empleo de pernos tipo 1 y 2, para el empleo del perno tipo 3, se requiere un taladro de diámetro 3.49 cm. (1 3/8"), este se consigue con el uso de brocas. Los taladros deben ser perpendiculares a la superficie rocosa.

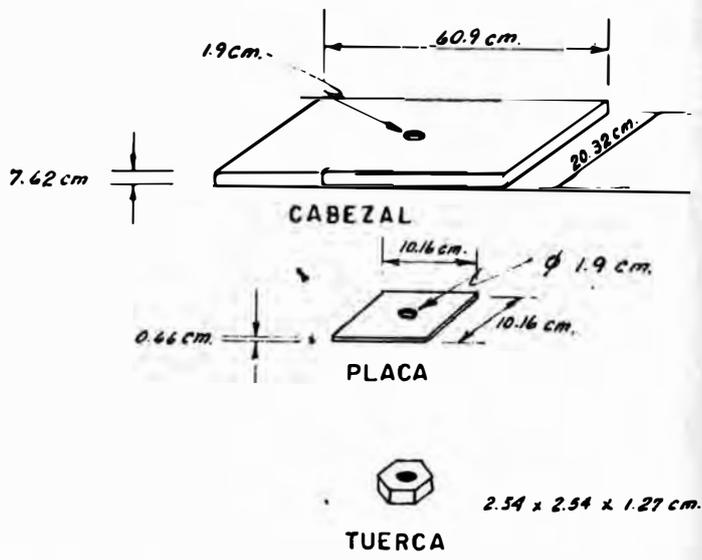
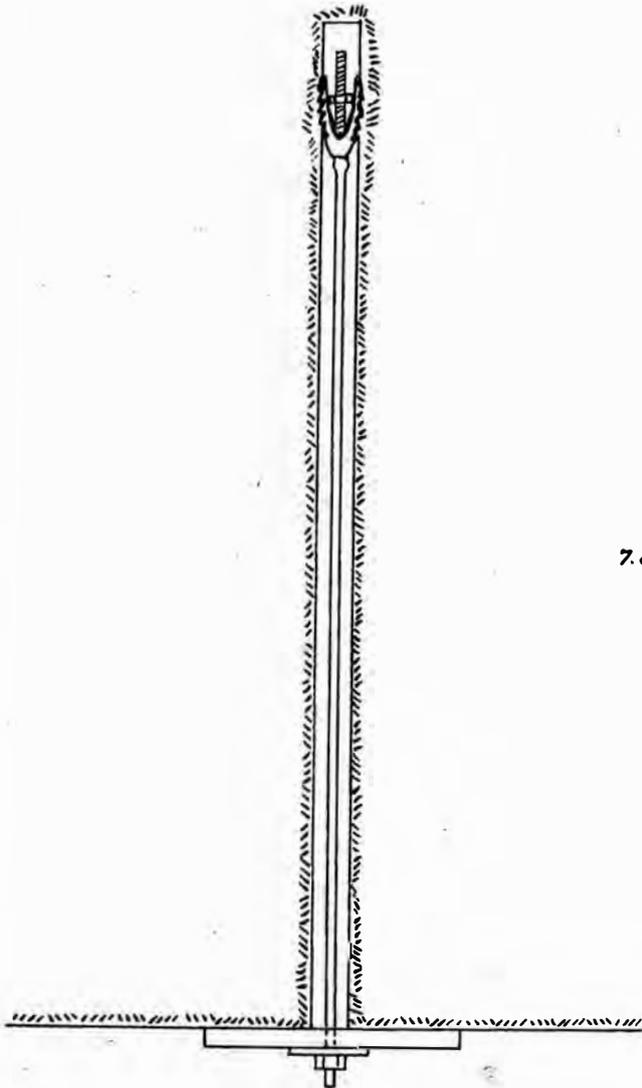
4.2. BARRA O FERNO

Hay diferentes diámetros de pernos; el de tipo expansión (lámina 12) con diámetros entre los 1.9 cm (3/4") a 1.59 cm (5/8"), dentro de los cuales se ha escogido el de 1.59 cm (5/8"), la elección se ha hecho de acuerdo al tipo de labor y característica del terreno, se ha tomado como concepto, de que el diámetro ideal del perno, sea uno que de a éste una resistencia a la tensión igual a la fuerza de anclamiento, tomando en este caso la máxima (ver 20 y 21). El acero empleado para la construcción del perno es de alta resistencia, que presenta una resistencia a la tensión de $7,031 \text{ kg/cm}^2$ ($100,000 \text{ lb/pulg}^2$) y un límite elástico de $3,515 \text{ Kg/cm}^2$ ($50,000 \text{ lb/pulg}^2$) (ver Tabla I).

La estandarización de la longitud del perno algunas veces tiene como consecuencia la peligrosidad en el sostenimiento, pues la roca no presenta las mismas características de un punto a otro, lo cual hace que el perno no sea adecuado. En la Mina Quiruvilca se tiene pernos de: 0.61, 1.22, 1.52, 1.83 m. (2,4,5,6 ps.), de longitud, los cuales dan buenos resultados en el empernado.

4.3. PLANCHA O PLACA

Es un elemento estructural que permite distribuir los esfuerzos, provenientes del ajuste de la tuerca,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA TESIS DE GRADO	
PERNO INSTALADO USANDO CASQUILLO TIPO_C - 5 (Estandar)	
Dibujado por: R. Yampi	Lámina No. 12

T A B L A I

TIPOS DE PERNO EMPLEADO EN QUIRUVILCA

		B A R R A			M A R I P O S A				T U E R C A	
		DIAMETRO C.M.	LONGITUD C.M.	RAÑURAS x 2.54 C.M.	LONGITUD C.M.	AREA DE CONTACTO C.M. ²	∠ GRADOS	DIAMETRO MINIMO C.M.	DIAMETRO MAXIMO C.M.	DIMENSIONES C.M.
TIPO 1 (Estandar)	C - 5	1.58	183.0 122.0 61.0	11	9.05	41.2	88°	3.17	4.05	2.7 x 2.7 x 1.6 HEXAGONAL
TIPO 2	SUD AFRICANO	1.58	183.0	11	6.51	45.4	85°	3.17	3.81	2.6 x 2.6 x 1.5 HEXAGONAL
TIPO 3	D - 5	1.58	152.0 183.0	11	7.62	62.5	87°	3.49	4.44	2.86 x 2.86 x 1.2 CUADRADO

en una mayor área de la roca y a la altura del collar del taladro.

De acuerdo a pruebas realizadas para escoger el tipo de placa en Quiruvilca dió como resultado una placa de dimensiones 10.2 x 10.2 x 0.63 cms. (4 x 4 x 1/4 pulgs) siendo de acero de alta tensión, se ha tomado en cuenta que debe alcanzar su deformación en un valor de esfuerzo, donde comience aproximadamente la elongación plástica del perno y además la placa no debe deformarse con un esfuerzo menor que el usado para la pre-tensión del perno (ver 21).

En la práctica, cuando la placa es ligeramente doblada hacia el collar nos indica una mala práctica pues ya no se cumple la relación de "Torque"-Tensión. Este caso es el mismo, cuando un perno es instalado inclinado con respecto a la superficie de apoyo. De acuerdo a las pruebas realizadas nos muestran que los pernos siempre pierden tensión por lo tanto no hay peligro de sobre carga.

En la Mina Quiruvilca se ha establecido el uso de "cabezales" (madera de eucalipto de 60.96 x 20.32 x 7.62 cms.) (24" x 8" x 3"), los cuales son aplicados para dar mayor área de apoyo, su aplicación es aceptable en forma limitada, así cuando la labor va a tener larga duración presenta desventajas, pues si la madera no es tratada, tenderá a contraerse, o también puede triturarse alrededor del

taladro (diámetro del hueco del cabezal muy abierto), lo cual daría una pérdida de tensión, se evita usando el diámetro del cabezal de 1.9 cm. (3/4"), empleando pernos de 1.59 cm. (5/8") de diámetro; si el cabezal se instala en una superficie rugosa, puede flexionar, y esto causaría una pérdida total de la tensión del perno, la madera se pudre con el tiempo y pierde su resistencia a compresión, causando la pérdida del perno. En conclusión se puede decir que el uso del cabezal debe evitarse en labores que van a permanecer abiertos por largo tiempo.

4.4. CAPARAZON O MARIPOSA

El rasgo esencial de cualquier mariposa de expansión, es que a medida que se le aplique el "torque", la tensión debe variar en forma proporcional. La tensión requerida para el anclaje de la mariposa debe ser menor que la tensión empleada para tensionar el perno, si resultase que el primero es mayor, el anclamiento del conjunto no podrá ser posible, pues el deslizamiento inicial no permitiría el tensionamiento correcto del perno para su instalación.

De mayor importancia para cualquier modelo de mariposa, es el diseño y las medidas de los dientes en el área de contacto presentada por dichas mariposas, de las

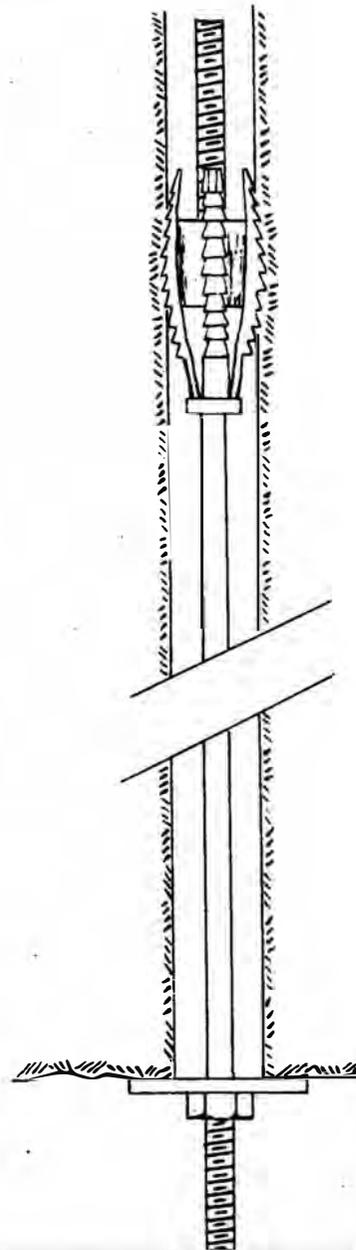
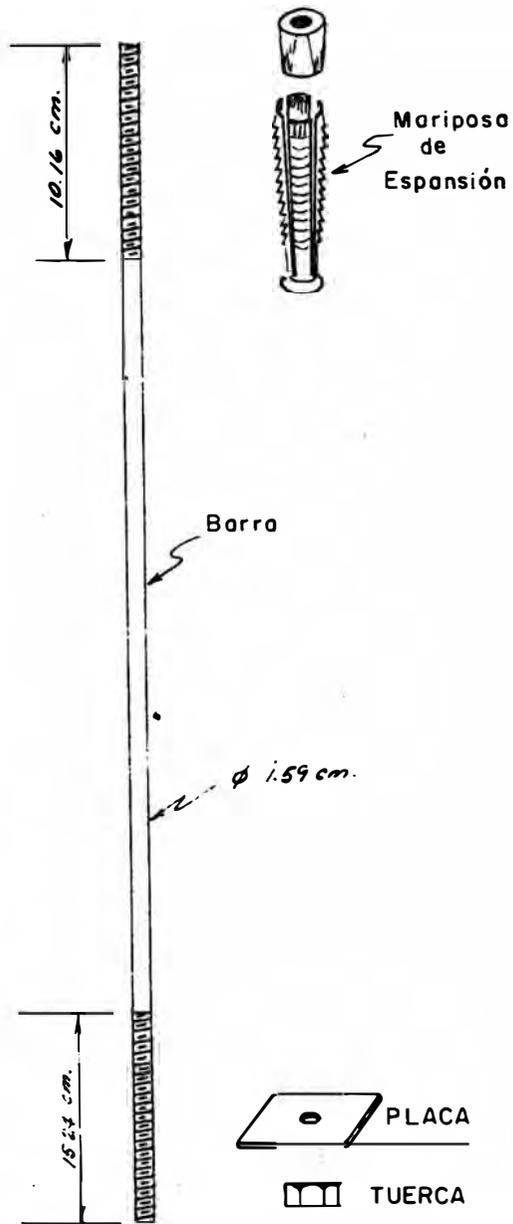
pruebas efectuadas se tiene, que en rocas duras la mariposa tendrá dientes más juntos (tipo 1 y 3), en roca blanda el caparazón podrá tener dientes mayormente espaciados, ser grandes y redondeados, es importante para un buen empernado el área de contacto que presenta la mariposa insertada en el taladro. En esto se tiene que, el área de contacto adicional, reduce el esfuerzo unitario de la roca en el punto de anclaje (ver 23). El cambio puede hacer disminuir el flujo plástico o deterioración y como resultado la pérdida de la tensión de instalación. Por esto que la longitud y la mayor área de contacto dará una mayor mantención del perno ya instalado (ver 12). (láminas 13, 14 y 15).

La mayoría de los pernos que se usan normalmente es del tipo 1. En la práctica el perno CF&I Pattin (tipo 3), frecuentemente se le rompe la unión de las capas de la mariposa cuando es insertado en un taladro de diámetro inferior, dando así la pérdida del perno y taladro.

El desplazamiento del perno, cuando se realizan pruebas es un resultado de la elongación del perno y el desplazamiento del anclaje, también puede tomarse como un equivalente de la deflexión del techo.

4.5. EL ANCLAJE

De acuerdo a las propiedades individuales de ca-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA TESIS DE GRADO	
PERNO BETHLEHEM TIPO C - 5 (Estandar)	
Dibujado por: R. Yampi	Lámimo No.13



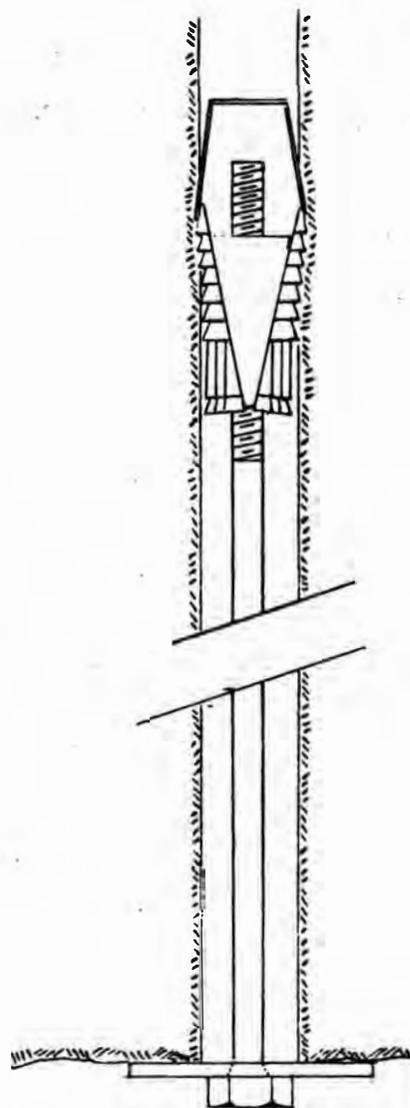
Barro



Mariposa
de
Expansión



Placa



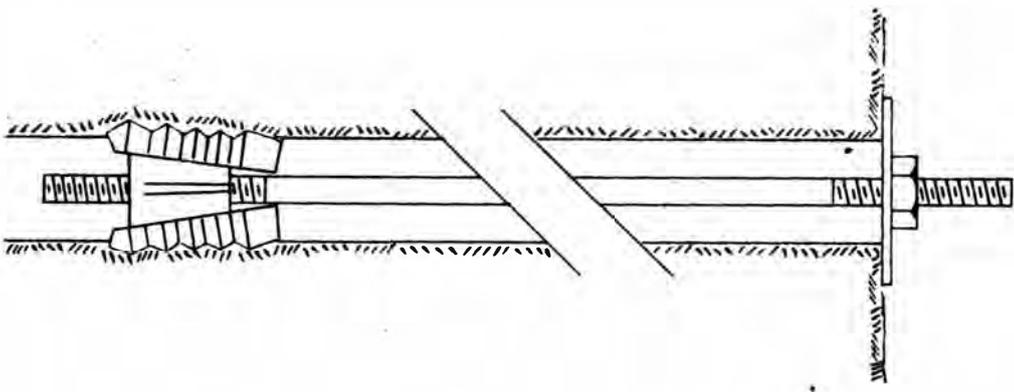
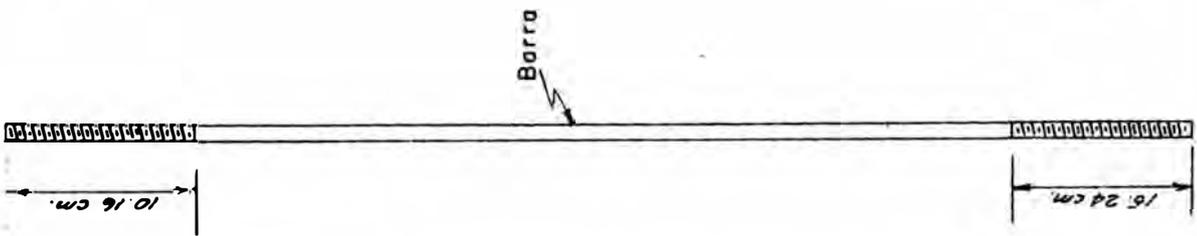
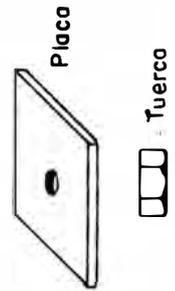
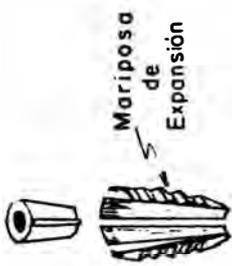
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA

TESIS DE GRADO

PERNO C. F. I.
CON CORAZA PATTIN DE EXPANSION D-5
TIPO 3

Dibujado por: R. Yampi

Lámina No 14



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA TESIS DE GRADO	
PERNO SUD-AFRICANO TIPO 2	
Dibujado por: R. Yampi	Lámina No 15

da elemento que compone el perno, dará como resultado una propiedad específica de éste, ya instalados deben dar un empernado satisfactorio, propiamente localizado, haciendo así un cuerpo único y sólido, el cual mantiene el esfuerzo pre-existente en la roca circundante de una excavación, previniendo que se "suelte" la energía latente y limitando el movimiento del techo.

Para poder cumplir con este concepto se ha tomado un sistema de empernado en forma de triángulo, con una separación promedio de 1.00 m., y un torque de 23.5 kg-m. (170 lb-ps), el cual da un resultado satisfactorio en el sostenimiento de la roca Andesítica de Quiruvilca.

5.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Ya dado en capítulos anteriores, las características que presenta el perno en forma individual, es conveniente obtener resultados de su comportamiento, al ser instalado en el terreno, teniendo diversos factores, que influyen en el empleo de este sistema de sostenimiento.

Para obtener estos resultados se han realizado algunas pruebas de acuerdo a las posibilidades dadas en la Mina Quiruvilca, con los siguientes aparatos: Medidor de "Torque"; Medidor Sud-Africano, el cual da la Tensión; y Medidor de Potencia del Perno, por medio del cual se obtie

nen dos lecturas, la elongación en centímetros (pulgadas) y la fuerza tensora en Toneladas Cortas de Esfuerzo (Libras). (láminas 16 y 17).

Estas pruebas se han realizado en base a los estudios realizados por: Louis A. Panek (ver 12); Charles J. Stehlik (ver 5); y J. Solano (ver 21).

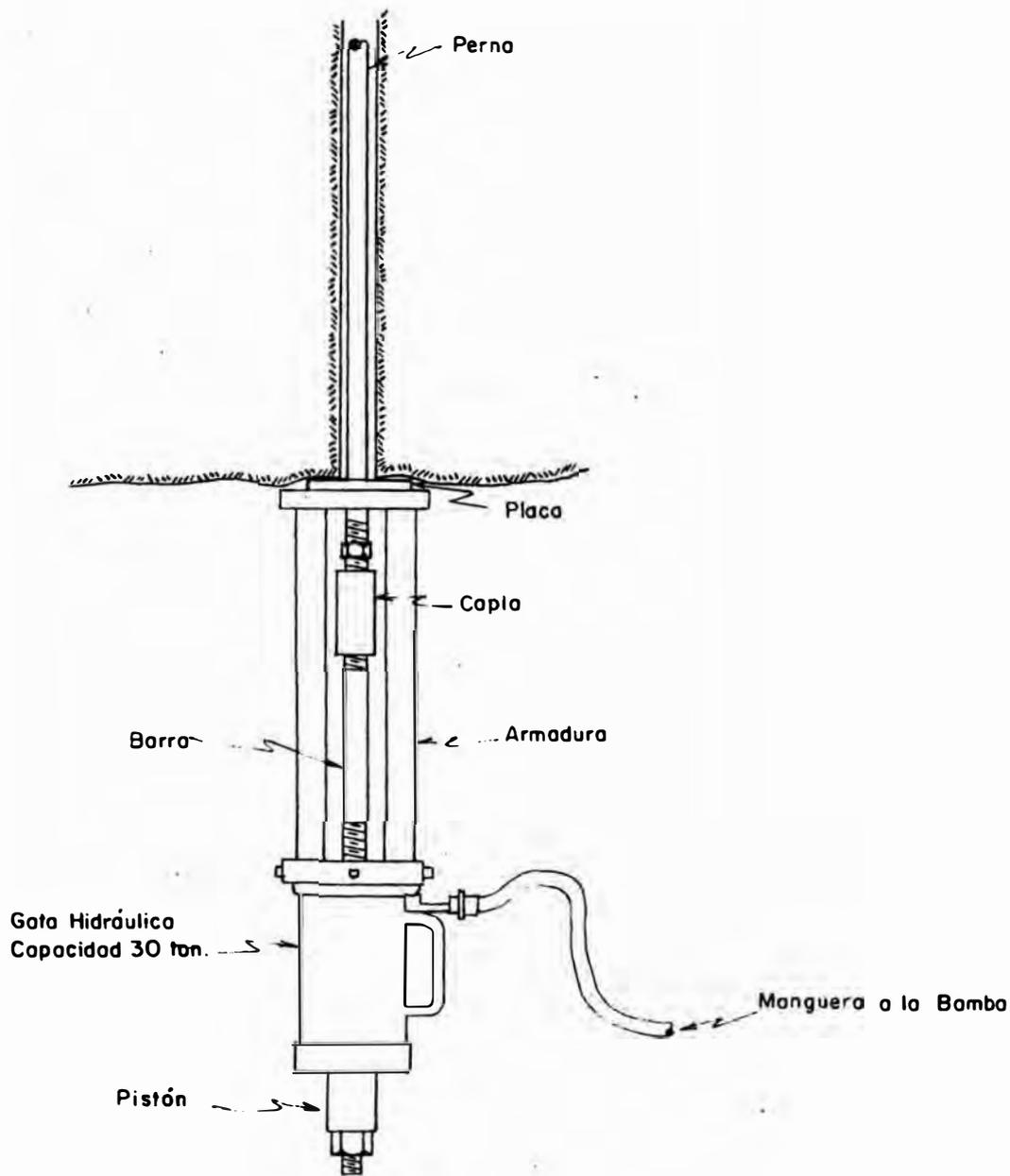
Para la obtención de los gráficos se ha tomado en consideración los datos hallados en la práctica, estos han sido relacionados de acuerdo a normas de la Estadística y Teoría de Errores.

5.1. RELACION "TORQUE"-TENSION

El conocimiento de esta relación es conveniente, pues se puede determinar la carga de instalación al ser ajustado al perno con un "torque" determinado.

La capacidad o "característica" de anclaje que presenta el terreno generalmente, resiste una tensión de 5.5 T.C. (xx) (11,000 lb.) a 6.8 T.C. (xx), en las zonas mineralizadas aumenta el valor, mientras que la resistencia de los pernos de diámetro 1.59 cm. (5/8") es de 7.5 T.C. (xx) (15,000 lb.) para su límite elástico y de 12.5 T.C. (xx) (25,000 lb.) para su punto de ruptura (valores promedios). Aunque en las pruebas, éste punto de ruptura algunas veces llega a un valor de 14.0 T.C. (xx).

Se ha hecho un estudio en observaciones a 50 per-

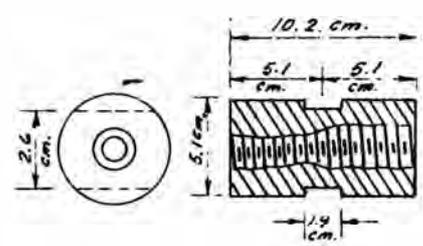
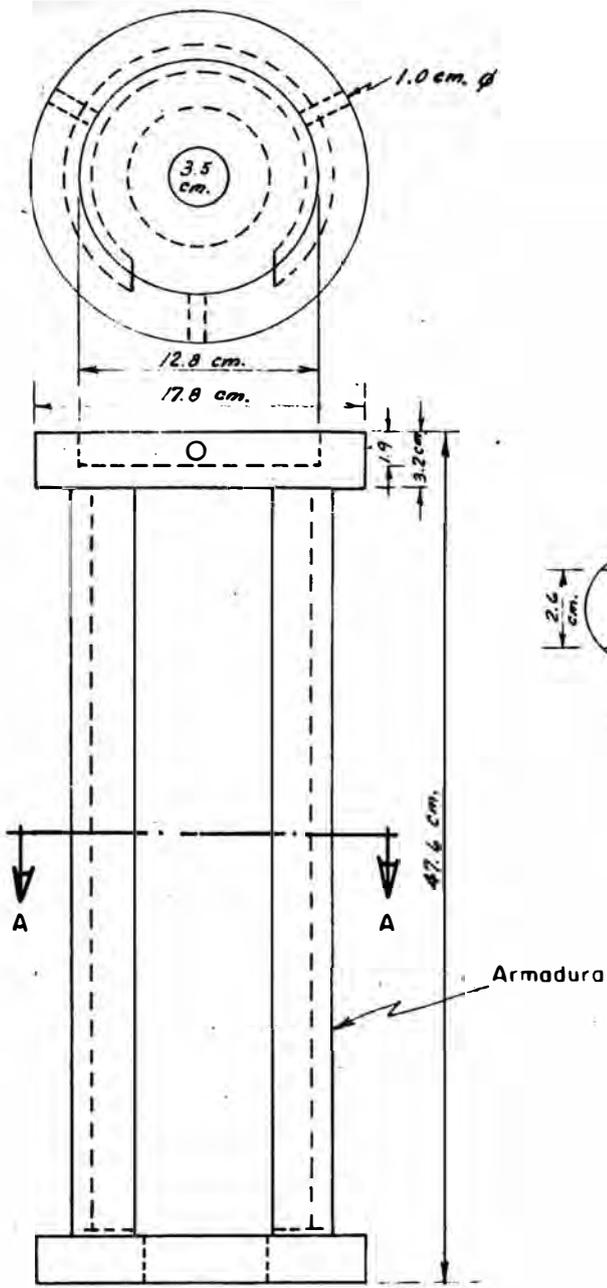


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
 METALURGICA
 TESIS DE GRADO

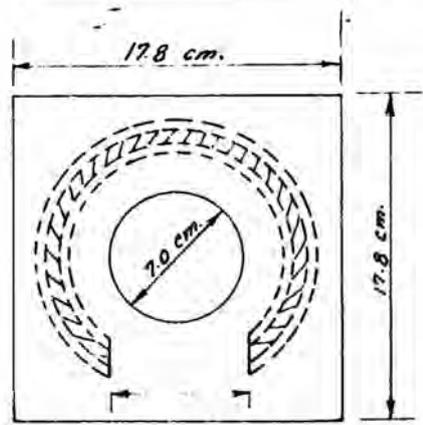
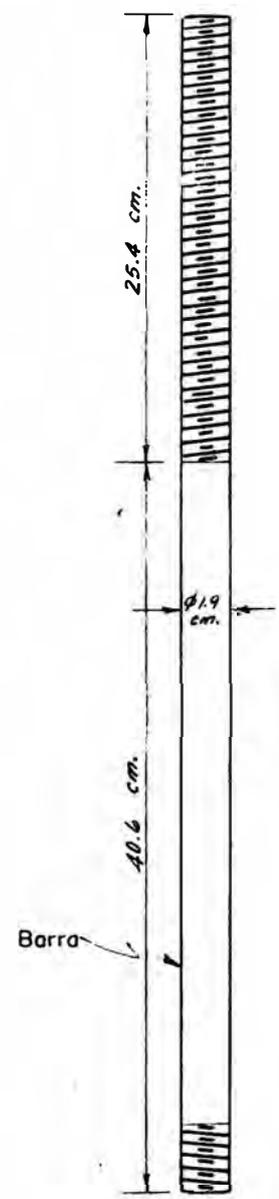
EXTRACTOR PARA PRUEBAS DE JALADO

Dibujado por: R. Yampi

Lamina No. 16



COPLA



SECCION A - A

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA TESIS DE GRADO	
PARTES DEL EXTRACTOR	
Dibuado por: R Yampi	Lámina No. 17

nos, en la instalación se observa, que no tienen torques iguales a pesar de que se les aplica una misma tensión, esto es debido a las condiciones presentadas por el terreno y del apoyo a la placa.

Se ha encontrado una relación por medio de la cual se puede obtener un valor "Torque" en base a la tensión, que es particular a la Mina Quiruvilca, y es:

$$Y = 39.088 + 10.040 X$$

donde: Y = Torque aplicado al perno en lb-ps (Kg-m).

X = Tensión en libras (Toneladas Cortas).

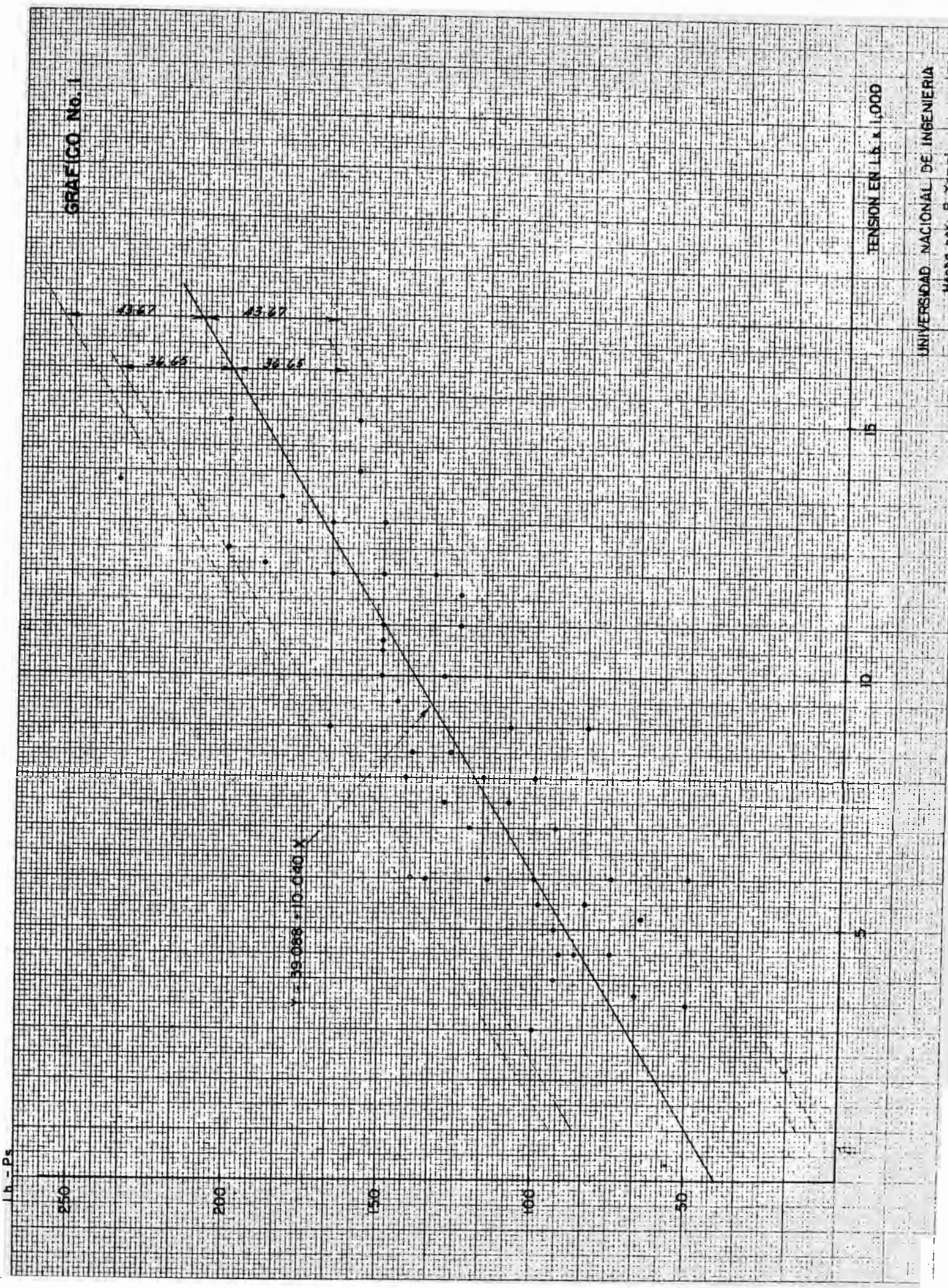
Aunque esta relación no es tan exacta, ya que tiene una variación, en la cual siempre influye las condiciones del terreno, considerándola con una validez del 90%, teniendo en cuenta que el torque utilizado es de 170 lb-ps (23.5 Kg-m), ésta variará en + ó - 56.65 lb-ps (5.07 Kg-m), y con el 95% de validez, la variación será de + ó - 43.67 lb-ps (6.04 Kg-m), de acuerdo a la teoría de errores se puede considerar como aceptable la relación encontrada.

(ver 25 y 26) Gráfico 1.

BIBLIOGRAFIA

Como observación se tiene, que la Fábrica de los pernos (ver 3) usados en esta prueba (Bethlehem Steel), da una característica de estos resultados tomando por inicio la relación, el origen de las coordenadas, lo cual como se

GRAFICO No. 1



TENSION EN LB. x 1,000

puede apreciar no se ha obtenido, debido a que en la práctica el anclaje ideal no es realizable (ver 24).

5.2. COLOCACION DEL PERNO EN EL TERRENO

La instalación de los pernos será perpendicular a la superficie del terreno, esta es una frase que es necesaria considerarla cuando se instalan los pernos, la perpendicularidad será entre el eje del perno y la plancha de apoyo instalada, el ángulo se puede observar entre la placa y la tuerca.

Raramente ocurre que la superficie rocosa sea perpendicular al eje del perno.

Para la prueba se han empleado 28 pernos, se observa que la máxima tensión, es obtenida cuando el perno es perpendicular a la superficie presentada por la labor, de los datos se obtiene la siguiente relación.

$$Y = 13.653 - 0.597 X + 0.012 X^2$$

donde: Y = Tensión en libras (Toneladas Cortas)

X = Inclinação en grados (α).

haciendo mínima e igualando a cero nos da $X = 24.8\alpha$, reemplazando este valor en la relación dada obtenemos $Y = 6.25 \times 1000 \text{ lb}$ (3.1 T.C. (xx)), que es menor que la mitad del valor inicial. Ver gráfico 2. Este nos muestra la necesi

TENSIÓN EN TONELADAS

1000

15

10

5

0

5

10

15

20

25

30

35

40

SE HA USADO PERNOS DE 181.0 cm DE LONGITUD
CON CAPAZON STANDARD Y PLANCHAS DE
10.3 x 10.3 x 0.63 cm

TENDENCIA

$$Y = 3.6253 - 0.597 x + 0.012 x^2$$

5°

10°

15°

20°

25°

30°

35°

40°

GRAFICO No 2

COLOCACION DEL PERNO EN EL TERRENO

INCLINACION EN GRADOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Hecho or R. Yam i

dad de que existe este ángulo recto entre el eje del perno y la superficie de apoyo. Dicho ángulo no debe exceder a un valor de 25º pues causaría una pérdida de capacidad mayor del 50%.

5.3. EFECTOS PRODUCIDOS POR VOLADURAS

En un frente que se avanza, frecuentemente tendrá que ser empernado tan cerca como sea posible del frente de ataque, dándole al sistema de empernado una tensión suficiente para su buen funcionamiento, pero al seguir avanzando con el frente, se presenta en las voladuras las ondas de choque que afectan a este empernado.

Se han realizado pruebas para ver a que distancia y cuanto es la influencia de esta onda de choque, en la prueba se han empleado 150 pernos, dándole la misma tensión y situados a distancias diferentes antes del disparo, luego se ha controlado estos pernos después del disparo. La pérdida de tensión fue computada y registrada como un porcentaje de la tensión de instalación inicial.

De los datos obtenidos se encuentra la siguiente relación:

$$Y = 46.698 - 8.757 X + 0.595 x^2$$

donde: Y = Pérdida de tensión en %.

X = Distancia en metros (pies).

haciéndola mínima e igualando a cero, nos da $X = 7.36$ m. (24.15 ps.) y reemplazando en la relación este valor hallado se tiene $Y = 14.48\%$.

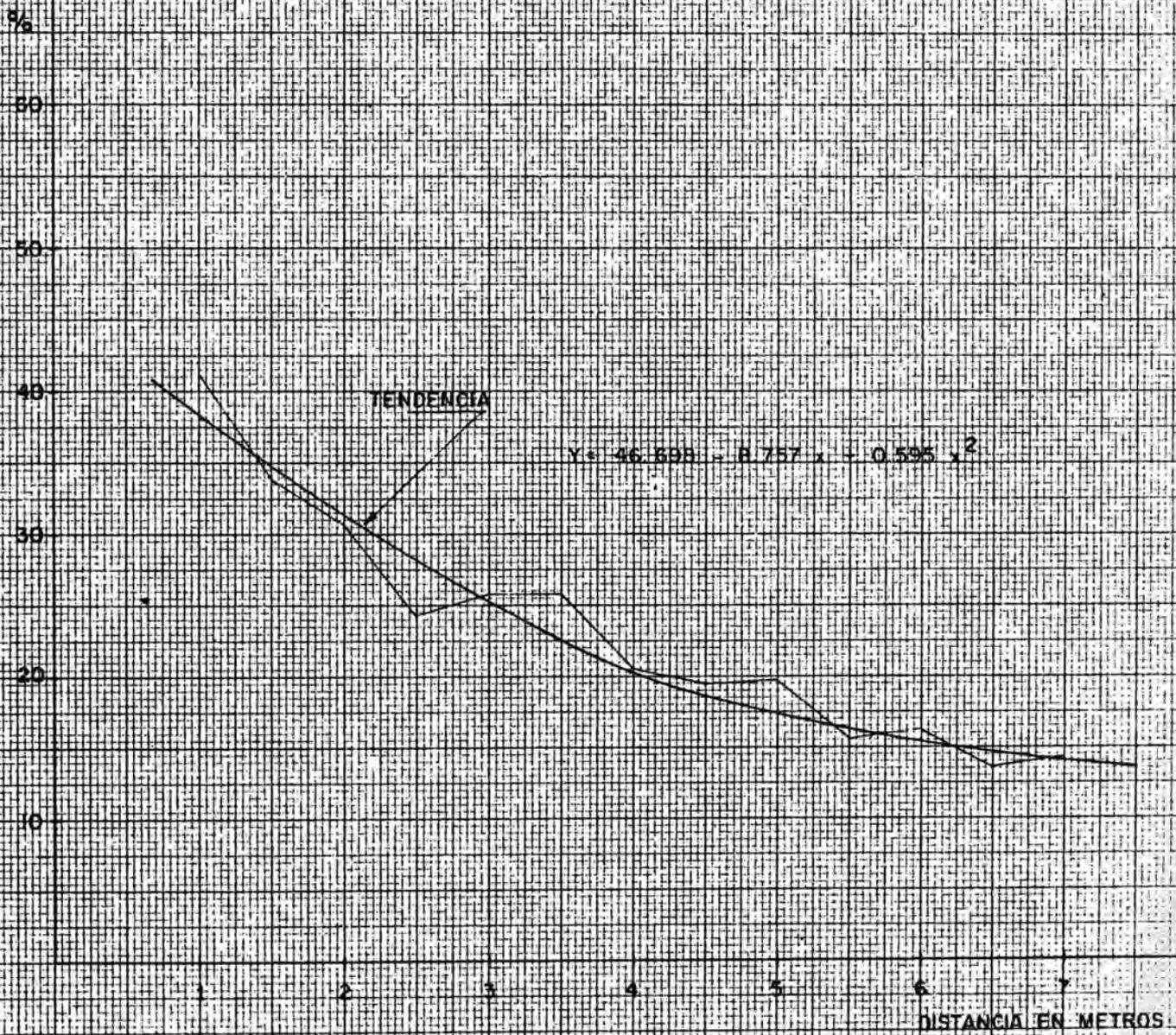
Luego las ondas de choque propagadas por el efecto de voladura de un frente en la roca Andesítica, afecta la tensión del perno adversamente dentro de un radio de 7.36 m., donde la onda de choque tiende a disminuir su efecto y en la cual la pérdida equivalente es de 14.48% de la tensión, ver gráfico 3.

Los pernos colocados a menos de un metro del frente frecuentemente muestran un incremento de tensión, cuando ésta fue medida después del disparo. Placa, tuerca y extremo del perno son dañados. Estos pernos no fueron tomados en consideración.

5.4. EFECTO PRODUCIDO POR EL TIEMPO

Se ha realizado esta prueba para poder observar la pérdida de tensión que sufre el sistema de empernado en función del tiempo, esta se ha realizado en un frente de desarrollo, controlando el torque a intervalos de tiempo (1 mes), gráfico 4, para la prueba se han tomado medidas en 100 pernos. Se observa en la prueba que el perno siempre presenta pérdida de tensión, da el caso después de ajustar el perno a la tensión deseada y al volver a probar

GRAFICO No. 3



EFFECTOS PRODUCIDOS POR VOLADURAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Hecho por: R. Yampi

en ese mismo momento ya presenta pérdida de un 5% y 10% de la tensión inicial.

De los datos encontrados se obtiene la siguiente relación:

$$Y = 10.839 - 0.966 X + 0.052 X^2$$

donde: Y = Tensión en libras (toneladas cortas)

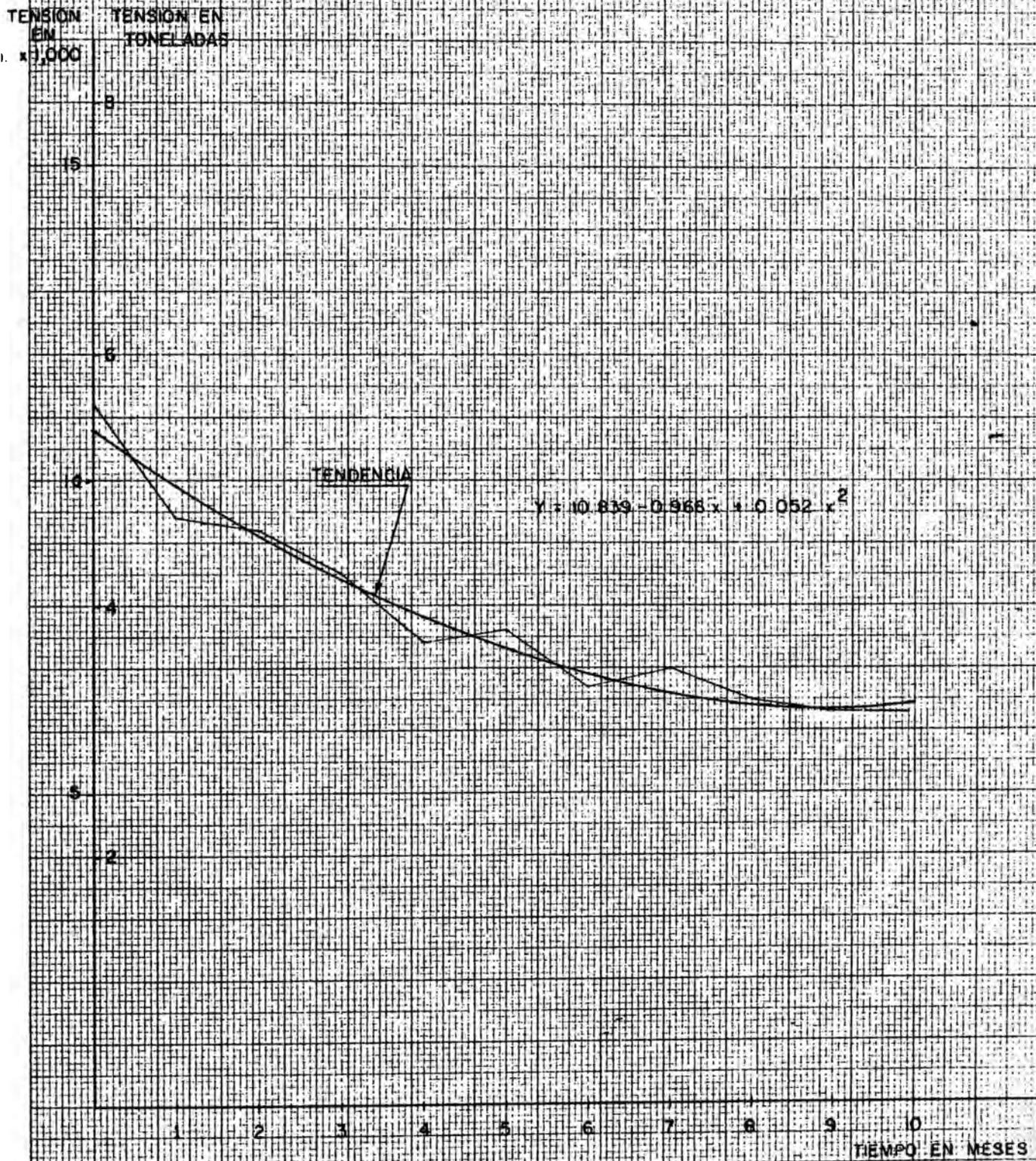
X = Tiempo en meses.

haciéndola mínima e igualando a cero, nos da X = 9.3 meses y reemplazando este valor en la relación se obtiene Y = 6.35 x 1000 lb. (3.1 T.C.) (xx). Al usar pernos de acero de alta resistencia (Bethlehem Steel modelo C5), pretensionados inicialmente a 170 lb-ps (23.5 Kg-m) sufre una pérdida de tensión máxima de 41.42% de la tensión inicial, 9.3 meses después de la instalación en una roca Andesítica típica de Quiruvilca. Si el perno es constantemente apretado no se tendría esta pérdida. Al volver ajustar el perno a su tensión de trabajo, el sistema de empernado vuelve a estabilizarse formando el anillo de compresión.

5.5. PRUEBAS DE EXTRACCION

5.5.1. Elongación Aproximada del Perno

Para poder apreciar la elongación que sufre el perno de anclaje debido a la tensión de anclamiento, se han



EFFECTO PRODUCIDO POR EL TIEMPO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Hecho por: R. Yampi

hecho pruebas representativas en terreno de roca Andesítica no alterada (ver 17), de las cuales se ha obtenido el resultado representado en el gráfico 5; en el cual se ha tomado dos puntos, punto A y punto B, los cuales pueden ser considerados como puntos en que la carga de la gata hidráulica y del perno son las mismas, se ha considerado en el gráfico unidades decimales: Toneladas Cortas x Centímetros, la parte central de la curva AB representa el desplazamiento de la cabeza del perno por el incremento de 1 tonelada corta de esfuerzo. De la curva la razón de desplazamiento es calculado como se muestra:

$$\frac{1.26 - 0.97}{9.5 - 8.7} = \frac{0.29}{0.80} = 0.3625 \text{ cm. x T.C. (xx)}$$

se obtiene que el desplazamiento del perno es 0.3625 cm. x T.C., y el verdadero desplazamiento del anclaje es 0.3117 cm. x T.C., pues la extensión elástica del perno es de 0.0508 cm. x T.C. (Seth Woodruff), la prolongación de esta tangente a la curva intercepta al eje de los esfuerzos (ordenada) en el valor de 6.05 T.C. (xx), que es una aproximación ajustada de la carga de instalación del perno.

5.5.2. Características del Anclaje

Para poder observar mejor una característica re-

(xx) Toneladas Cortas de Esfuerzo.

ELONGACION APROXIMADA DEL PERNO

TENSION
EN
TONELADAS

12

10

8

6

4

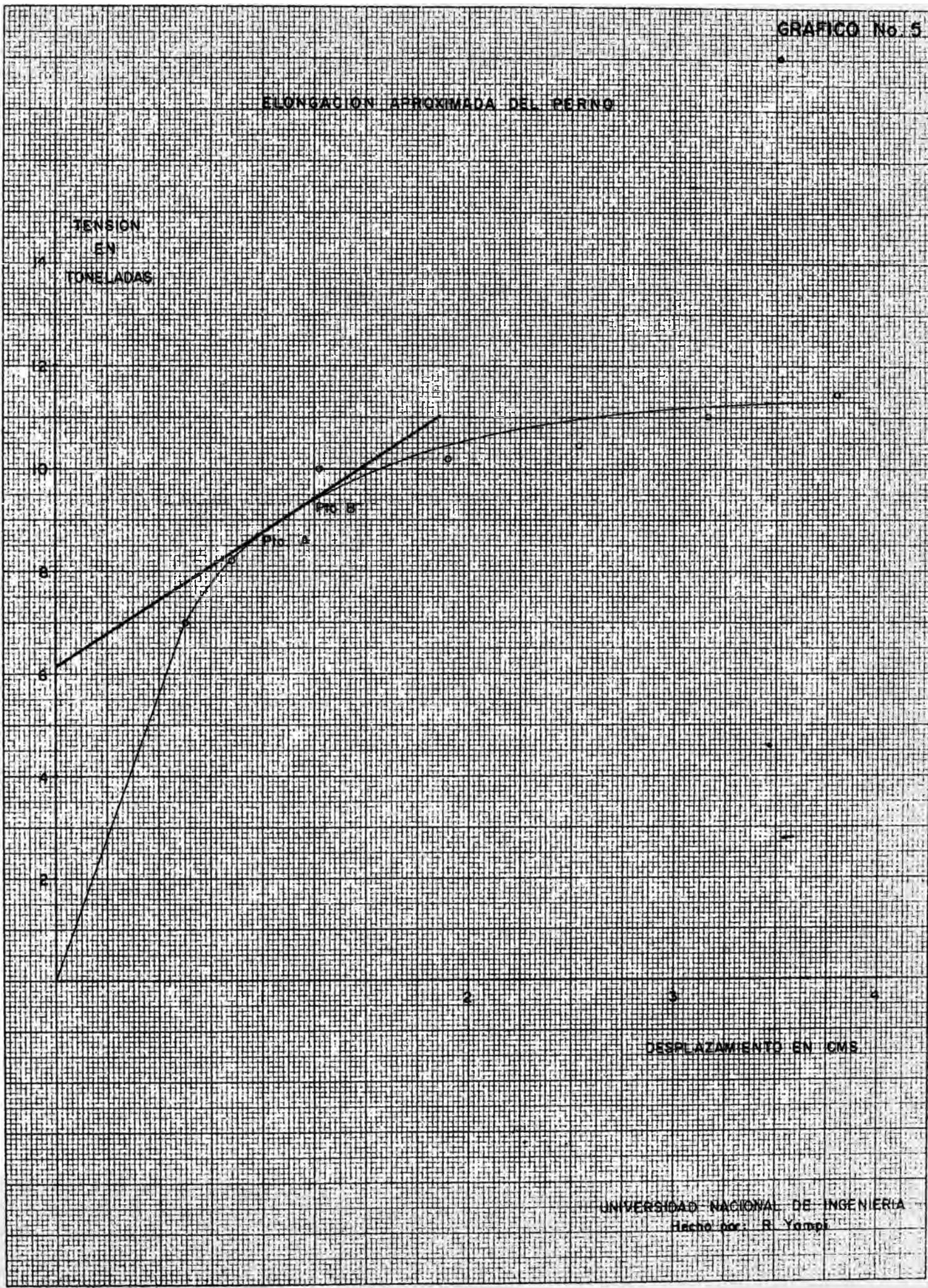
2

2

3

4

DESPLAZAMIENTO EN CMS.



presentativa de la extracción de un perno en el terreno (ver 12) se ha tomado valores en los cuales se han llevado las pruebas hasta la ruptura del perno, debido al esfuerzo, al obtener este valor se podrá hallar el esfuerzo de rotura del perno anclado, el cual como promedio nos da 7,195 Kg/cm^2 (102,334 lb/pulg.²), y el esfuerzo elástico máximo de 4,924 Kg/cm^2 (70,034 lb/pulg.²), estos han sido obtenidos de dividir la fuerza de rotura y del esfuerzo elástico máximo, entre el área de la sección del perno respectivamente, en este caso el diámetro es de 1.59 cm. (5/8"). Ver gráfico 6.

Conociendo el esfuerzo elástico y el de rotura del acero nos da una referencia de la elección del acero, si es el que realmente cumple con los requisitos tanto de elasticidad como de rotura, que se necesita para las condiciones de sostenimiento en la Mina Quiruvilca.

CARACTERISTICAS DEL ANCLAJE
(ESTANDARD)

TENSION
EN
TONELADAS

5

0

5

2.54

5.08

7.62

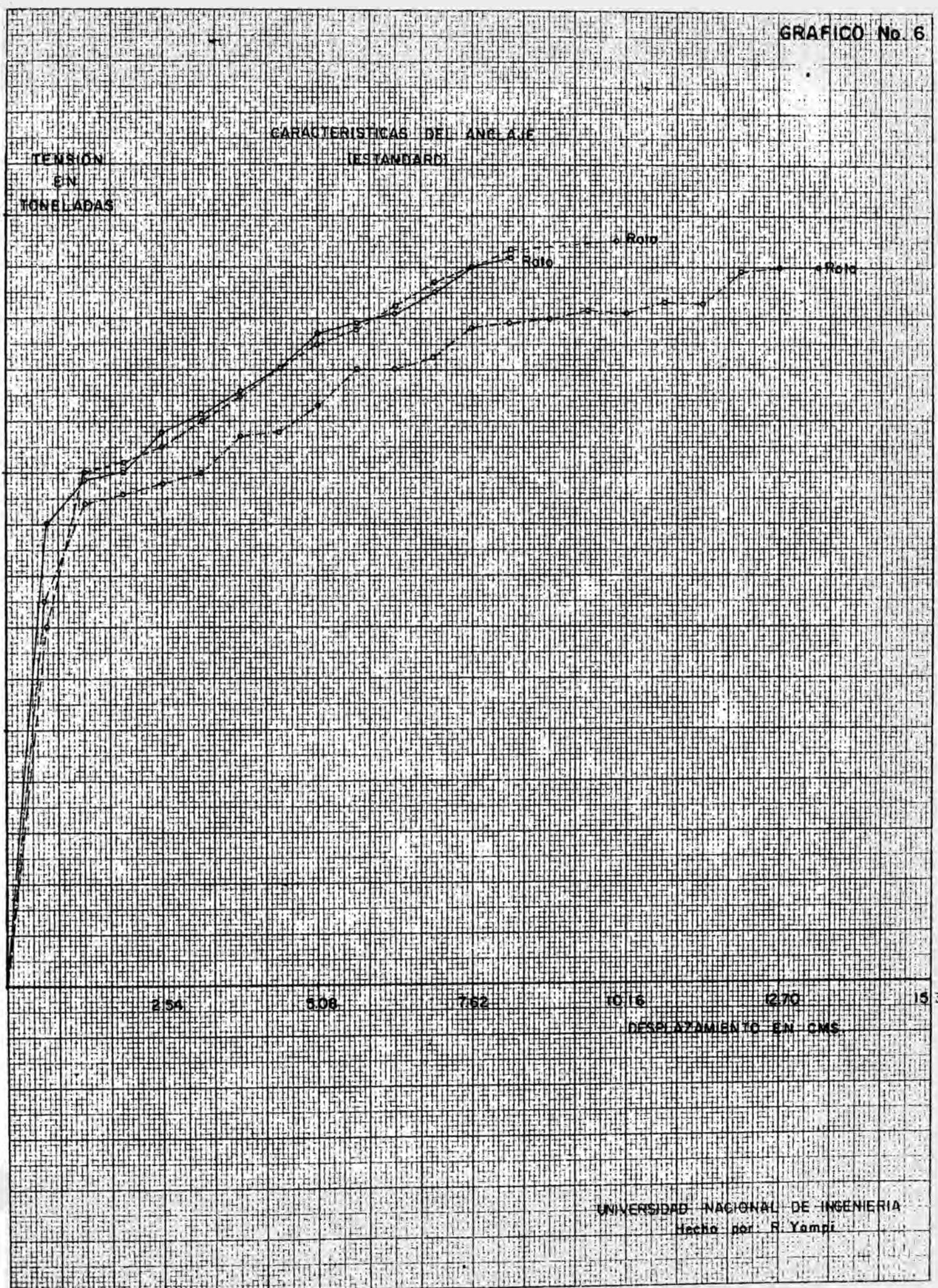
10.16

12.70

15.24

DESPLAZAMIENTO EN CMS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Hecho por R. Yampi



6.- EFICIENCIA DEL EMPERNADO DE ROCAS

Un frente empernado tiene dimensiones distintas a los frentes que se llevan con madera, siendo en ese caso de menor sección, lo cual conducirá a un ahorro con respecto a la remoción de roca quebrada, explosivos, mejor ventilación, etc., lo que se traduce en una mejor eficiencia y bajo costo, que cuando este frente es seguido usando madera.

En la Mina Quiruvilca actualmente se lleva frentes con las siguientes dimensiones, aunque la primera sección esté siendo desechada, debido a la mecanización ac-

tual de minado.

Sección	Sección Empernada	Sección Enmaderada	Relación
1.83 x 1.83 m.	3.62 m ²	6.32 m ²	1 : 1.74
2.13 x 2.13 m.	4.55 m ²	5.83 m ²	1 : 1.69
2.44 x 2.44 m.	5.94 m ²	9.20 m ²	1 : 1.55

Se ha realizado una comparación de la eficiencia entre un frente empernado y un frente con sostenimiento de madera, lo mismo en un tajo empernado y un tajo sostenido con madera ("square set").

En el avance de un frente se ha tomado una misma labor, con el mismo personal, en la cual fue necesario el empleo de madera y posteriormente el uso de pernos, para su sostenimiento.

La sección neta del frente fue de 2.44 x 2.44 m. en roca Andesítica la cual requiere soporte, por turno trabajan dos hombres usando una perforadora Atlas Copco modelo BBC, Pala Einco 21b, cambio de cuchilla, carros de 1.13 m³ (40 ps³), rieles de 19.8 Kg. por metro (40 lb. por yarda), con una trocha de 0.61 m. (24 pulg.), tubería plástica de 5.08 cm. (2 pulg.) de diámetro para el aire y de 2.54 cm. (1 pulg.) de diámetro para el agua.

	Soporte con madera	Soporte con pernos
Sección	3.35 x 2.74 m.	2.44 x 2.44 m.
Avance en 25 días	24.8 m.	48.5 m.
Cuadros usados	22	
Pernos usados		302
Tareas de Perforación y Disparo	63	77
Tareas de Sostenimiento	45	31
Metros de Avance por Turno	0.23	0.45
Tareas en sostenimiento por metro	1.8	0.7

De esta comparación se puede observar que un frente con madera requiere de 2.6 veces más de tareas-hombre en sostenimiento que el frente llevado con pernos. Para comparar los costos entre los dos sistemas de sostenimiento, se asumirá un costo de perforación, disparo y limpieza en un frente de área neta de 2.44 x 2.44 m., de aproximadamente \$ 1,000.00 por metro de avance, incluyendo tuberías y rieles.

Sostenimiento con Madera

Perforación y Voladura

$(\frac{9.20}{5.94} \times 1,000) \times 0.9$ \$ 1,400.00

Un cuadro más o menos a

1.1 m. \$ 330.00 por cuadro \$ 297.00

Instalación " 220.00 por cuadro " 198.00

Acarreo, puesta en la labor y

preparación de la madera

\$ 22.00 por cuadro " 22.00 517.00

TOTAL

\$ 1,917.00

Sostenimiento con Pernos

Perforación y Voladura

\$ 1,000.00

6 pernos a \$ 34.00 \$ 204.00

Instalación a \$ 5.00 " 30.00

Costo de Perforación de

12.2 m. a \$ 3.40 " 41.48

Cabezales a \$ 5.00 " 30.00

305.48

TOTAL

\$ 1,305.48

Comparación	Soporte con Madera	Soporte con Pernos	Reducción del Costo en %
Costo de soste nimiento por me tro	\$ 517.00	\$ 305.48	40.9
Costo Total	" 1,917.00	" 1,305.48	31.9

En la cual se ve la conveniencia del empernado en un frente, pues es casi dos veces más eficiente, comparando el sostenimiento con madera en términos hombre-tur-
no.

El empleo de los pernos en los tajos da la venta-
ja de un rápido ciclo de minado. Incrementando hasta cer-
ca de un 32% de eficiencia. En un turno dos hombres insta-
lan de 22 a 25 pernos o un perno en 10 a 15 minutos.

El promedio del consumo del perno por tonelada de mineral minado es de 0.3. El ciclo de sostenimiento con pernos es más rápido, dando seguridad en el limpiado y relleno del tajo. El manejo de madera es incómoda y ade-
más en la ventilación, es mejor ventilado un tajo emperna-
do que uno con madera.

Para poder observar mejor estas conclusiones se da una comparación de los sistemas de sostenimiento con

"Square set" y Empernado. El tajo considerado es de 5.00 m. de ancho localizado en terreno que requiere sostenimiento. La eficiencia promedio sobre un período de 4 meses de trabajo, prueba que será 1.82 veces más alto para el tajo empernado que para el que usa madera.

Tajo Empernado, solo sostenimiento

0.3 Pernos/Tonelada a \$/ 18.40	\$/	5.52
Instalación a \$/ 2.80		0.84
Perforación a 0.55 m. a \$/ 2.30		1.26
Cabezales		<u>0.26</u>
	COSTO POR TONELADA	\$/ 7.88

Tajo con Madera, solo sostenimiento

Cuadro bloqueado y reforzado	\$/	82.60
Instalación		62.80
Preparación del cuadro		19.45
Puesta en la Labor		<u>7.60</u>
	\$/	172.45
Un cuadro "square set" provee unas 12 Toneladas		
COSTO ESTIMADO POR TONELADA	\$/	14.37

Con estas estimaciones, se puede determinar cuantas toneladas pueden ser minadas, después que un turno ha sido dedicado exclusivamente en trabajo de sostenimiento. En un tajo llevado con "square set" con tres hombres por

turno colocan 2.3 cuadros de madera, cada cuadro provee 12 toneladas de mineral. Un hombre turno entonces, dá una producción de 9.2 Toneladas de mineral. En un tajo con dos hombres por turno colocan 25 pernos, cada perno provee 3.2 Toneladas minadas. Un hombre turno producirá 40 Toneladas de mineral. La relación de eficiencia de la labor de sostenimiento asciende a $40/9.2 = 4.3$ en favor de un tajo empernado.

7.- ESTUDIO REALIZADO CON PERNOS EN PRUEBA

Son pruebas que se han realizado con nuevos tipos de pernos (Nacionales), en los cuales se estudia las características que presenta el sistema de sostenimiento, siempre se ha tomado en cuenta la comparación con los pernos que se tiene en Quiruvilca, estos son importados, desde el punto de vista operacional.

En este capítulo se dá las características y conclusiones a que se ha llegado de acuerdo a los resultados presentados en las pruebas efectuadas con los pernos. Se han tomado cuatro casos.

1. Pernos Tipo A (Metalotécnica S.A.)

Características del perno:

Perno.- De 1.83 m. (6 ps.) de longitud, un diámetro de 1.6 cm. (5/8"), ranurado en ambos extremos, con una longitud de 10.16 cm. (4"). El material empleado para la manufacturación de la barra es de dos tipos: a) Acero 1020; b) Acero 1040. Ver apéndice.

Mariposa.- De diseño casi igual que los pernos tipo 1, las aletas van soldadas a un anillo base.

Tuerca.- El tamaño de la tuerca es de 2.54 x 2.54 x 1.27 cm. (1"x 1"x 1/2"), hexagonal medido cara a cara.

Pruebas.- Los resultados están dados en los gráficos 7 y 8.

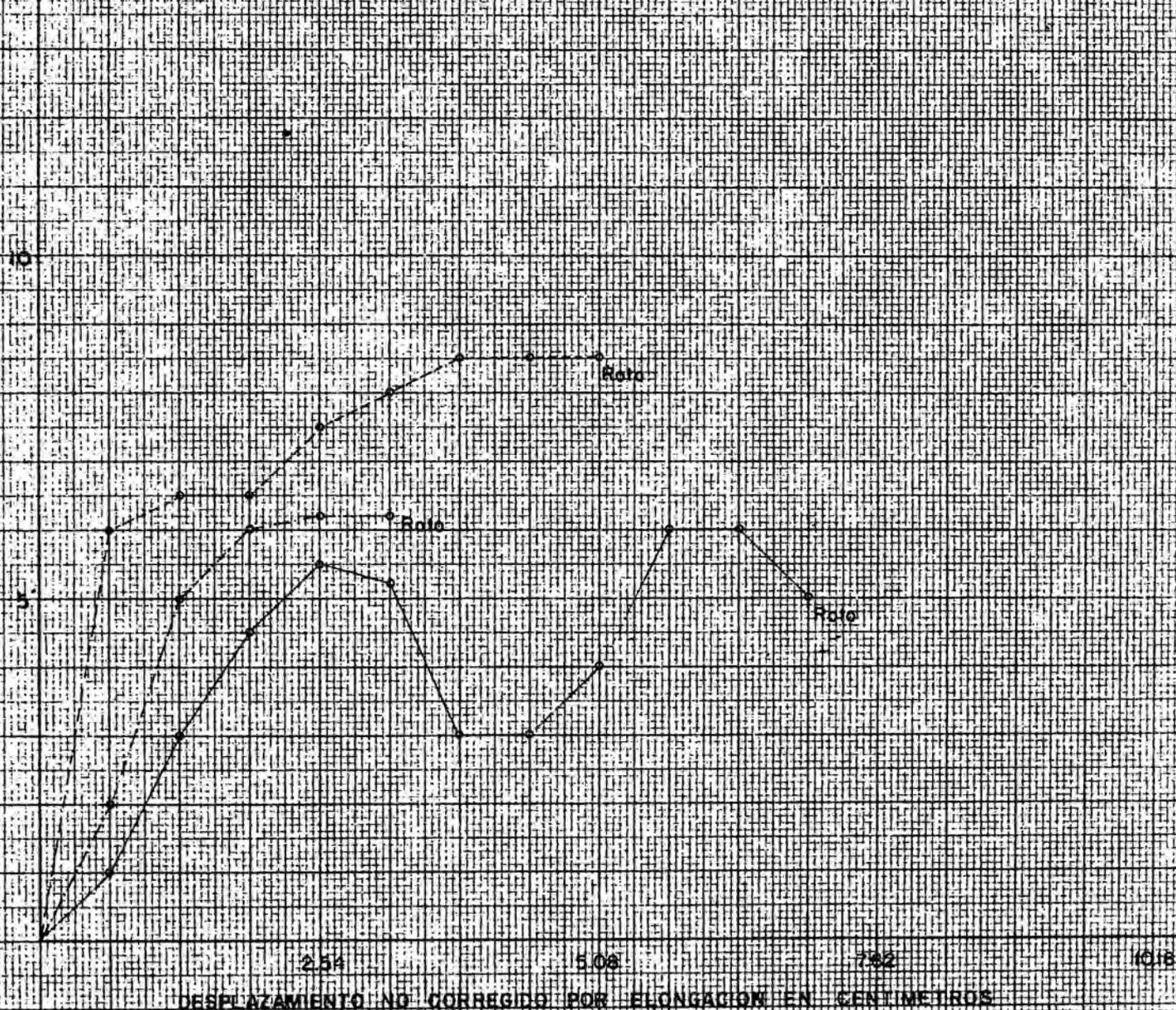
Conclusión.- Los pernos fueron instalados en taladros de 3.5cm. (1 3/8") de diámetro. Al hacer las pruebas de tensión en el perno, se ha tenido un deslizamiento inicial no recomendable al serle aplicado una fuerza tensora de 6.0 T.C. (xx). Esto es con los pernos de acero 1020. Al realizar las pruebas con pernos de acero 1040 se ha obtenido mejores características (gráficos), con un promedio de la carga tensora de 10 a 12 T.C. (xx), para llegar al punto de ruptura del perno.

Por lo tanto el perno de acero 1020 no presenta las características apropiadas, ya que el perno importado

PERNO TIPO A

PERNOS DE ROCA DE U.S. # 183 G cm
ACERO CORRIENTE

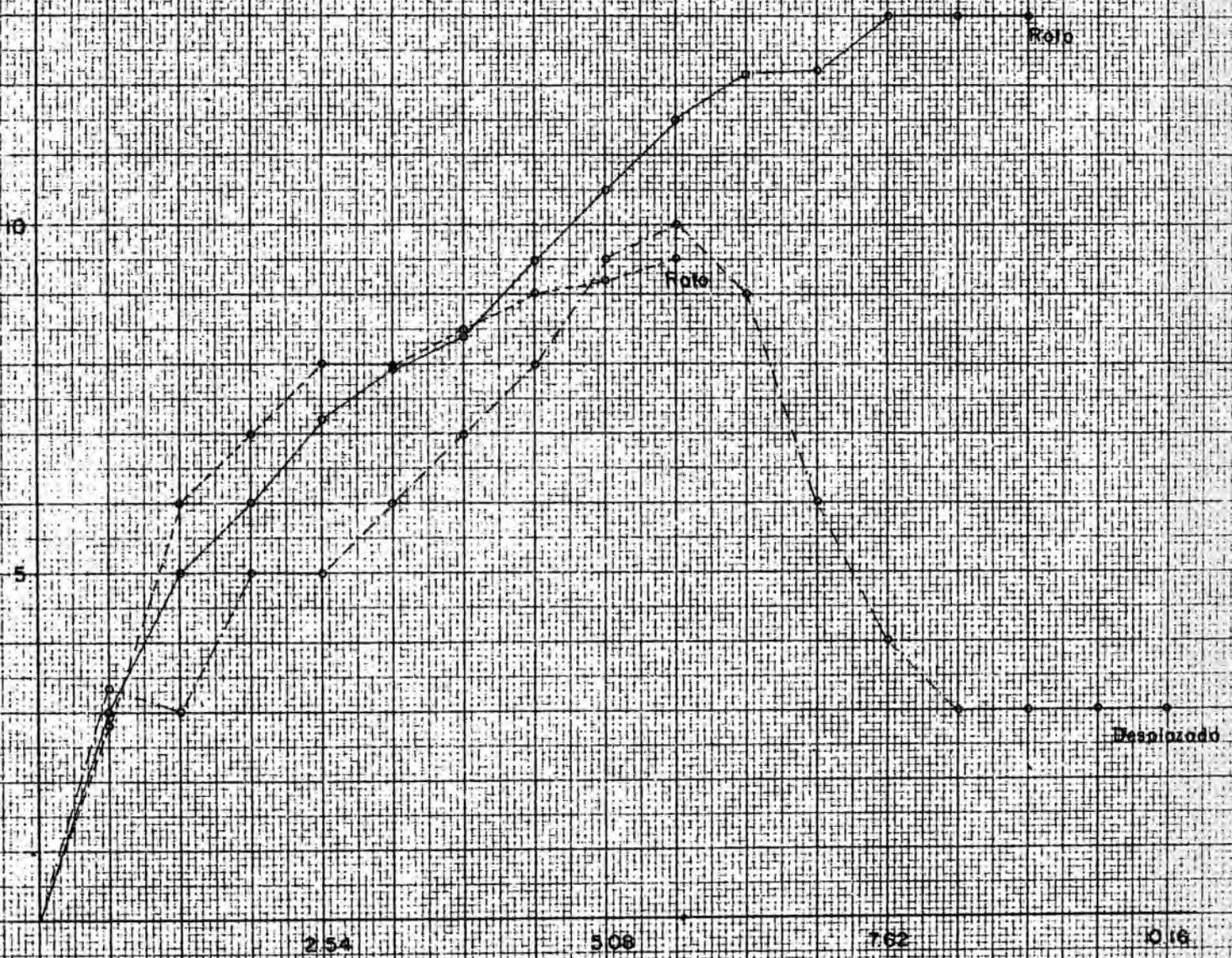
TENSION
EN
TONELADAS



RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCION CON SACA HIDRAULICA (PULL TEST)

PERNO TIPO A
 PERNOS DE ROCA DE 1.6 x 183.0 cm.
 ACERO 1040

TENSION
 EN
 TONELADAS



DEPLAZAMIENTO NO CORREGIDO POR ELONGACION EN CENTIMETROS

RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCION CON GATA HIDRAULICA (PULL TEST)

tiene un punto de rotura de 13 a 14 T.C. (xx). El perno de acero 1040 presenta similares características que el perno importado, excepto que tiene menor anclaje, lo cual hace que no sean los más convenientes para reemplazar a los pernos usados en Quiruvilca.

2. Pernos Tipo B (Matrickería Industrial S.A.).

Características del perno:

Perno.- La longitud es de 2.00 m. (6'7") x 1.6 cm. (5/8") de diámetro, ranurado en ambos extremos, teniendo 15.24 cm. (6") de ranurado en el extremo de la mariposa, y 10.16 cm. (4") de ranurado en el extremo de la tuerca. El acero empleado aparentemente es de 1020.

Mariposa.- El diseño es parecido al perno tipo 3. Mide 7.62 cm. (3") de largo, el diámetro varía entre 3.5 a 3.6 cm. (1 3/8" a 1 27/64"). La mariposa viene montada a la barra, siendo los segmentos de dientes sujetos al perno con alambre.

Tuerca.- El tamaño de la tuerca es de 2.46 x 2.46 x 1.27 cm. (63/64" x 63/64" x 1/2"), hexagonal, medidos cara a cara.

Pruebas.- Los resultados están dados en el gráfico 9.

Conclusión.- El material empleado en el perno es de baja calidad. Al serle aplicado una fuerza tensora de

PERNO TIPO B

PERNOS DE ROCA DE 1.6 x 209.7 cm
ACERO 1620

TENSION
EN
TONELADAS

10

5

2.54

5.08

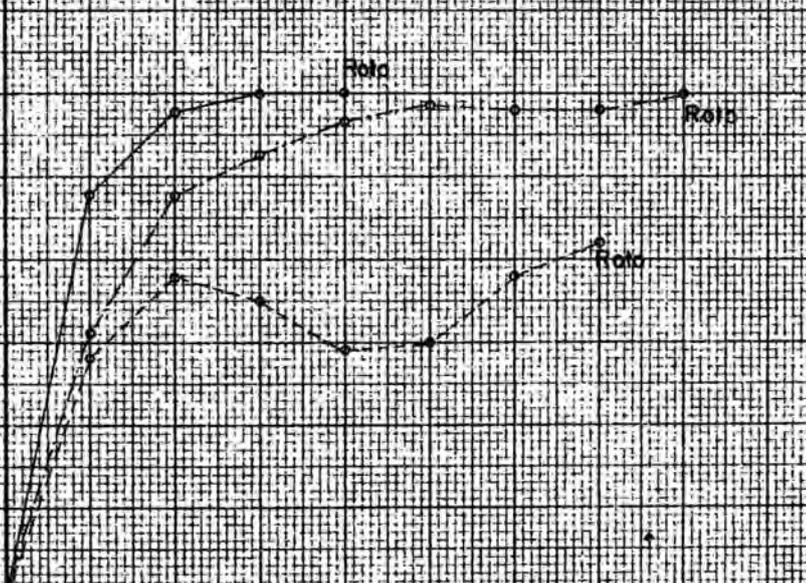
7.62

10.15

DESPLAZAMIENTO NO CORREGIDO POR ELONGACION EN CENTIMETROS

RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCION CON GATA HIDRAULICA (PULL TEST)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Hecho por: R. Yampi



6.0 T.C. (xx) se rompe, normalmente a unos 5.08 cm. (2") de la punta exterior (lado de la tuerca).

Los hilos de la rosca en ambos extremos son desiguales, siendo los hilos por el lado de la mariposa más gruesos.

La tuerca es de menor diámetro que las tuercas de los pernos importados, lo cual da una desventaja, pues las empernadoras tienen un dado estandar hexagonal de 2.7 cm. (1 1/16").

Al aplicarse un torque de 20.7 Kg-m. (170 lb-ps) a la tuerca, comienza a malograrse el hilo de la rosca del perno.

La forma de sujetar los segmentos de dientes con una cuña mediante un alambre no es lo conveniente. Si se deja el alambre puesto, las quijadas de la mariposa no puede abrirse al ser ajustado el perno. Sin alguna clase de sujeción la mariposa se descuadra al meter el perno dentro del taladro, presentando fallas en su introducción.

Ciertas dificultades se presentaron, en hacer la perforación exacta del taladro, que corresponde al diámetro de la mariposa. Los barrenos Coromant que generalmente se usan en la Mina, no sirven para el empernado de estos, pues se necesita de un diámetro terminal mayor al que se usa para los pernos estandar. Lo cual hace que este per

no no sea recomendable su uso.

3.- Pernos Tipo C (Maqueira S.A.).

Características del perno:

Perno.- La longitud de la barra es de 1.83 m. (6') y de 1.6 cm. (5/8") de diámetro. Ambos extremos están ranurados, con 10.16 cm. (4"), de carrera al lado de la mariposa y 15.25 cm. (6") el otro extremo. El tope de la mariposa es un perno hexagonal de 0.48 cm. (3/16") de grosor. El acero empleado es de C 1040 a C 1045.

Mariposa.- El diseño es parecido a los pernos tipo 1, las aletas están soldadas a un anillo base.

Tuerca.- El tamaño de la tuerca es de 2.54 x 2.54 x 1.27 cm. (1" x 1" x 1/2"), hexagonal, medido cara a cara, corresponde al tamaño adecuado por los dados que se usan en las empernadoras.

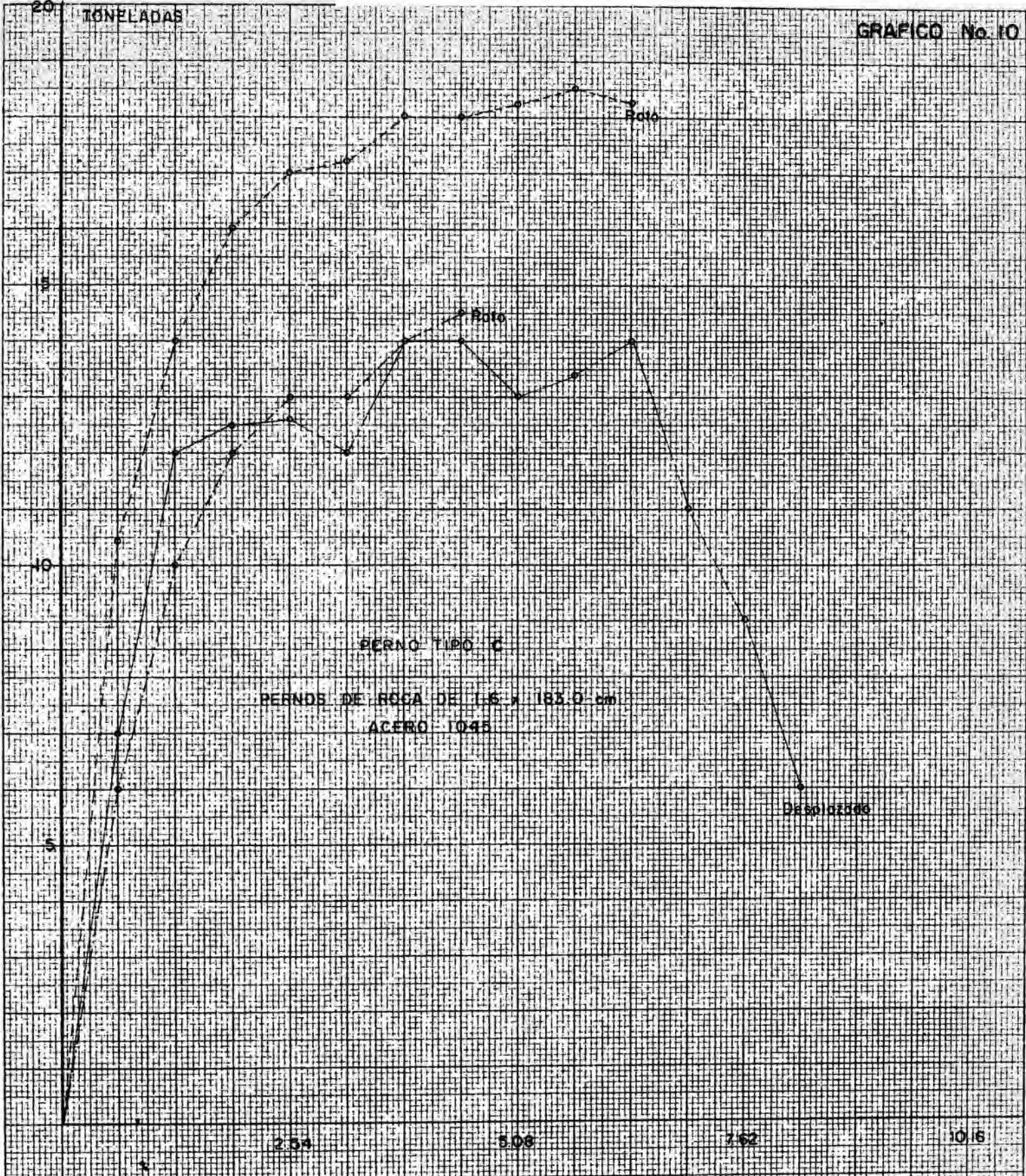
Pruebas.- Los resultados están dados en el gráfico 10.

Conclusión.- La instalación de los pernos se efectúa en taladros con un diámetro final de 3.2 cm. (1 1/4"), el mismo que se emplea para los pernos tipo 1 y 2.

El acero empleado en la barra tiene alta resistencia a la rotura, que llega a 18.5 T.C. (xx), pero que es lograda a costo de la elongación. El perno debe tener como tope para la mariposa orejas prensadas o por lo menos

TENSION
EN

GRAFICO No. 10



una tuerca o arandela más gruesa. Al aplicar una fuerza mayor de 10.0 T.C. (xx), aparentemente la tuerca tope, de 0.48 cm. (3/16") de espesor, se rompe.

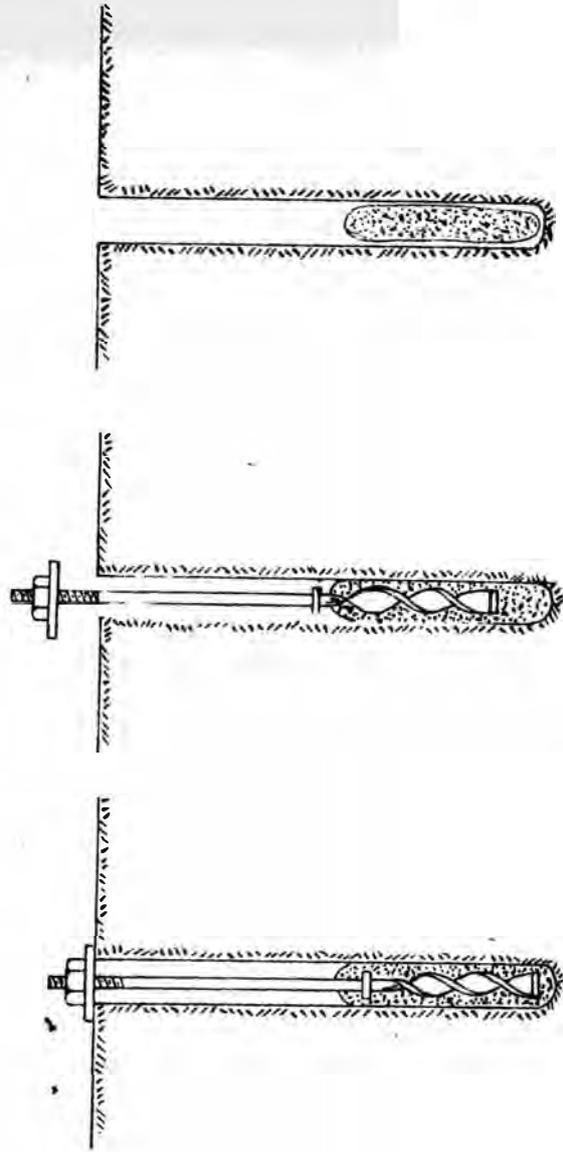
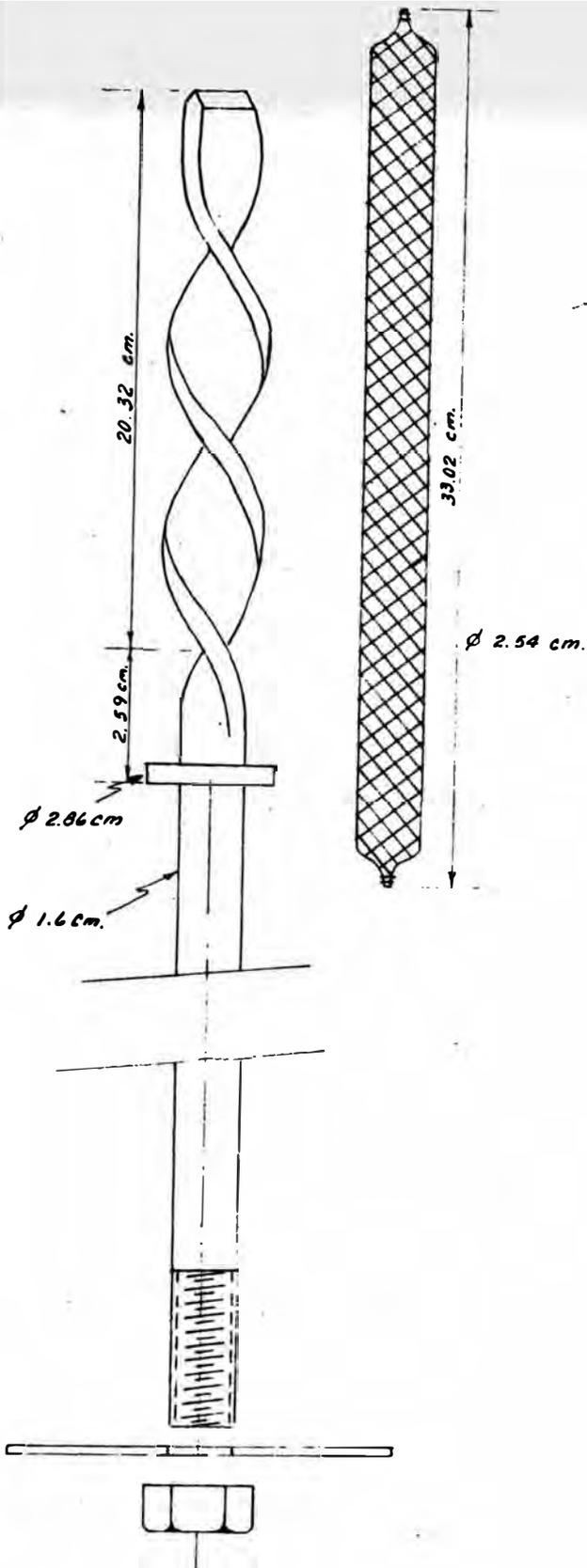
El punto más débil del perno es la mariposa, pues la soldadura para unir las aletas, al anillo base está mal hecho, mejorando este inconveniente se puede usar satisfactoriamente. De lo expuesto se observa que el perno puede ser empleado, salvo algunas modificaciones.

4.- Empleo de Cápsulas de Resina.

En sí éste no es un tipo de perno, pues solo se ha empleado una cápsula de resina, que cumple las funciones de mariposa, y de perno se ha empleado pernos recuperados (lámina 18).

Especificaciones Técnicas:

Cápsula de Resina.- Esta es ofrecida por "Torque Tensión (United Kingdom) Ltd.", es desarrollada y manufacturada por la "Imperial Chemical Industries Limited", Nobel División; para el uso con pernos de roca, ésta además de la resina contiene un poliéster no saturado, el catalizador resistente al fuego, y un endurecedor peróxido de bencol orgánico. De longitud tiene 33.00 cm. (1'1") y de 2.54 cm. (1") de diámetro. Para mayor consistencia está rodeado por una malla plástica clara, que facilita la introducción de la cápsula en el taladro.



INSTALACION

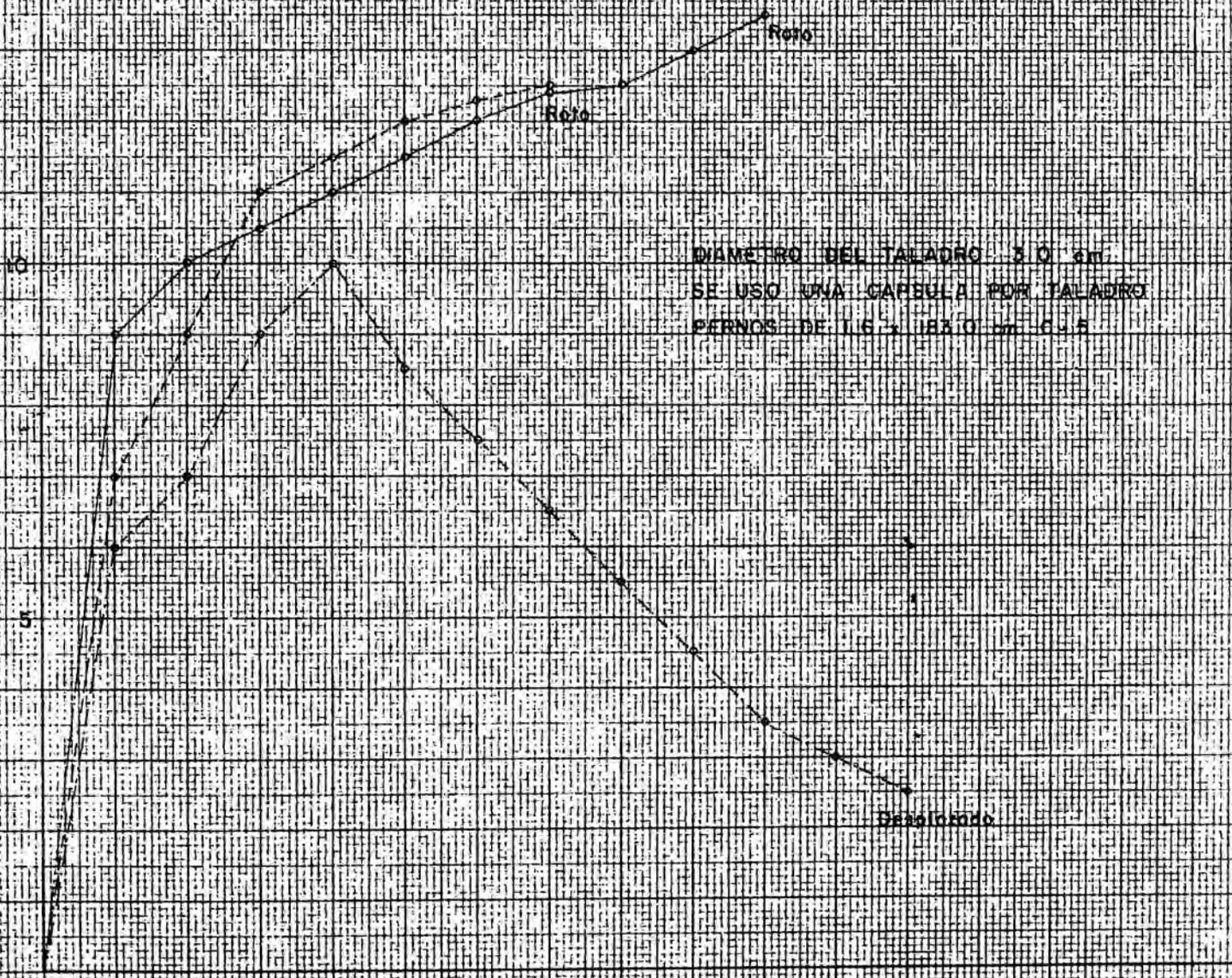
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA TESIS DE GRADO	
PERNO DE RESINA	
Dibujado por: R Yampi	Lámino No 18

Perno.- Los pernos fueron preparados en Quiruvilca, usando las barras de los pernos recuperados. La barra de 1.83 m. x 1.6 cm. (6' x 5/8") fue aplanada en el extremo superior hasta alcanzar un ancho de 1.9 cm. (3/4") y luego se le ha dado la forma de gusanillo de 20.32 cm. (8") de largo, se fija en la barra una arandela de 2.83 cm. (1 7/64") de diámetro, la cual servirá para retener la resina cuando es puesto en contacto la barra con la cápsula.

Instalación.- Los huecos fueron hechos con barrenos Coromant, con un diámetro final de 3.0 a 3.2 cm. (1 3/16" a 1 1/4") y con una longitud de 5.08 cm. (2") menor que la longitud de la barra usada. Se introduce primero la cápsula luego el perno con el gusanillo adelante, al estar en contacto con la cápsula, la barra debe ser rotada con una empernadora. Para este propósito se ha preparado un adaptador especial. Así se obtiene la mezcla de la resina con el agente endurecedor y demás componentes. La rotación se efectuó en un lapso de tiempo de 30 a 45 seg. Después de este lapso, se espera de 15 a 60 min. para que la mezcla formada se endurezca, completando de poner a su tensión de trabajo, con un torque de 23.5 Kg-m (170 lb-ps). En algunas pruebas se han usado dos cápsulas por taladro.

Pruebas.- Los resultados son mostrados en los gráficos 11 y 12.

TENSION
EN
TONELADAS



DIAMETRO DEL TALADRO 3.0 cm.
SE USO UNA CAPSULA POR TALADRO
PERNOS DE I.I.S. x I.I.S. cm. 6.5

DESPLAZAMIENTO NO CORREGIDO POR ELONGACION EN CENTIMETROS

RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCION CON GATA HIDRAULICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Hecho por R. Yamp

TENSION
EN
TONELADAS

15

0

0

DIAMETRO DEL TALADRO 3.0 cm
SE USO DOS CAPSULAS POR TALADRO
PERNOS DE 1.6 x 183 cm U-5

254

508

762

1016

DESPLAZAMIENTO NO CORREGIDO POR ELONGACION EN CENTIMETROS

RESULTADO DE PRUEBAS DE EXTRACCION CON GATA HIDRAULICA (FULL TEST)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Hecho por R. Yampi

R016

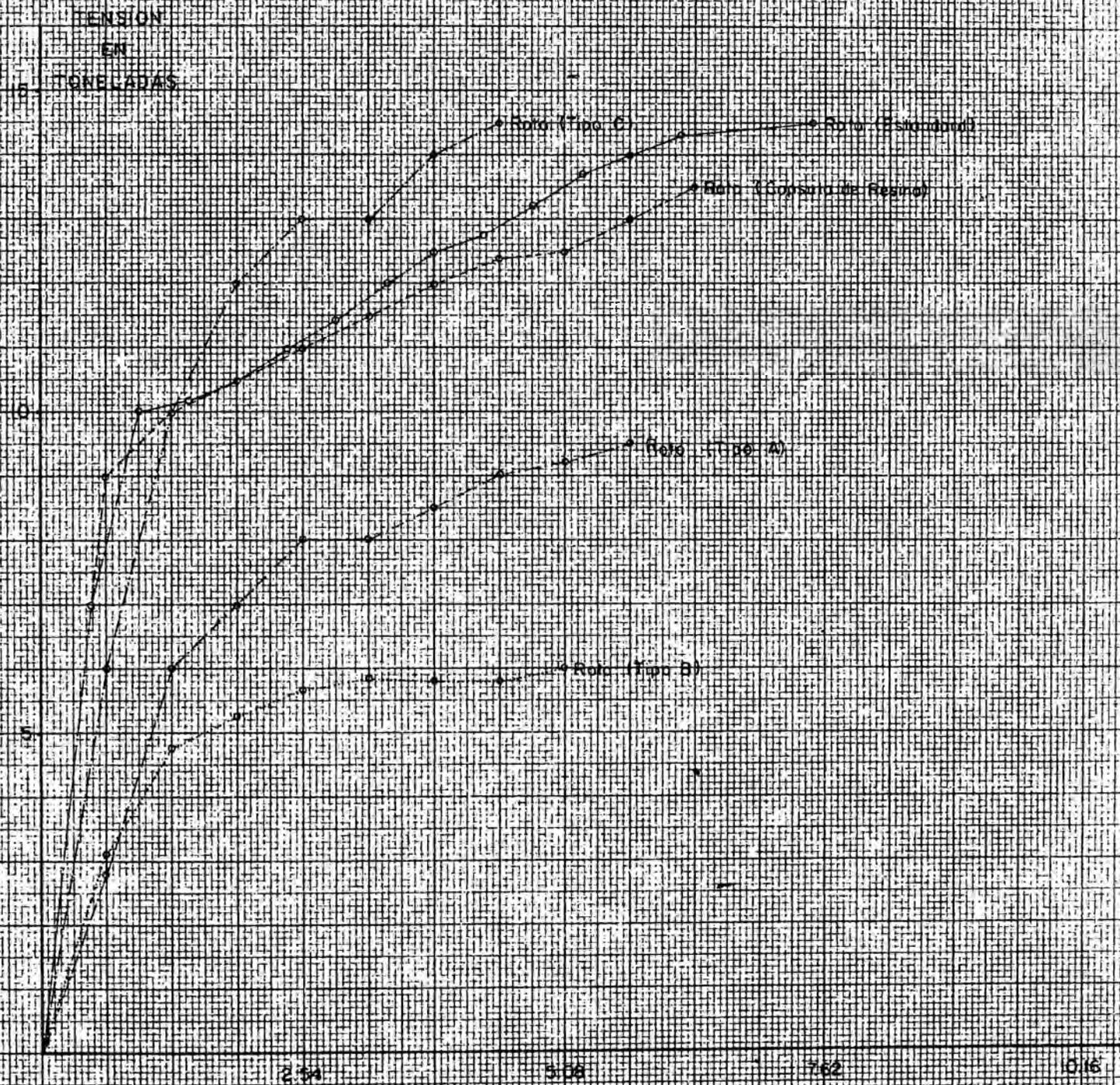
R016

Desplazado

Conclusión.- Los resultados muestran para algunos casos, suficiente seguridad de anclaje. Cuando se ha empleado dos cápsulas por taladro ha dado mejor anclaje, pues presenta mayor área de contacto tanto al perno como a la pared del taladro, que cuando se usa una cápsula.

La instalación del perno con resina requiere de 20 a 25 min., siendo este, mayor tiempo que el empleado al instalar el perno usado en Quiruvilca. Cuando el perno es instalado al alza, es necesario sostenerle por más tiempo ya que presenta deslizamiento, debido capaz al peso presentado por la barra, dando así también una desventaja considerable en su uso.

Observando el gráfico 13 de comparación de los pernos estudiados, se observa que las características más favorables son las presentadas por los pernos tipo C y el de empleo de cápsulas de resina, los otros no dan un resultado favorable.



DESPLAZAMIENTO NO CORREGIDO POR ELONGACION EN CENTIMETROS
 RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCION CON GATA HIDRAULICA (PULL TEST)

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- El sostenimiento con pernos de anclaje es el más adecuado en las labores subterráneas de la Mina Quiruvilca, y es más económico que si se usase madera.

2.- Las zonas en las que ha sido posible el sostenimiento con pernos de anclaje son: la roca competente (Andesita no alterada); y en los tajos donde no se presenta cruce de fallas mineralizadas.

3.- El "Torque" de trabajo tomado, ha sido de 23.5 Kg-m (170 lb-ps), y para mantener la eficiencia del sostenimiento del sistema de empernado, es necesario con-

trolarlo periódicamente.

4.- Con respecto al apoyo, la placa debe sentarse lo más plano posible en el terreno, y quedar perpendicular al eje del perno.

5.- Si la labor va a tener una duración de más de un año, se debe evitar el uso de "cabezales" en la instalación del perno, siendo lo más recomendable el empleo de la placa solamente.

6.- Para un mejor sostenimiento, con pernos de anclaje, usar malla de acero, y sobre esta aplicar un recubrimiento de concreto (Shotcrete).

7.- Cuando un perno falla, es conveniente evaluar el tipo de falla, si es el perno propiamente dicho se rá necesario pedir mejores características de aceros, o si no, solicitar un nuevo diámetro; y si es falla de la mariposa se pedirá nuevos modelos de estas con mejores características de trabajo.

8.- Para hacer uso u empleo de este sistema de sostenimiento en una mina o caminos carreteros (túneles), taludes, etc., es necesario efectuar un estudio Geológico y de Mecánica de Rocas en la zona, lo cual nos dará las características de la roca. Al iniciarse el trabajo es conveniente la comprobación de los datos y pruebas referentes a los esfuerzos del perno de anclaje.

APENDICE I

CALCULO ESTADISTICO PARA HALLAR LAS RELACIONES DE LOS

GRAFICOS 1, 2, 3 y 4

Para encontrar las relaciones mostradas en el Capítulo 5, se ha tomado en cuenta el Método Estadístico mostrado en el Libro de Cecil Mills (ver 26).

En el cual se muestra que para la obtención de una recta se tiene la siguiente forma:

$$(1) \quad \sum (Y) = Na + \sum (X)b$$

$$(2) \quad \sum (XY) = \sum (X)a + \sum (X^2)b$$

Para una parábola de potencia

$$(1) \sum (Y) = Na + \sum (X)b + \sum (X^2)c$$

$$(2) \sum (XY) = \sum (X)a + \sum (X^2)b + \sum (X^3)c$$

$$(3) \sum (X^2Y) = \sum (X^2)a + \sum (X^3)b + \sum (X^4)c$$

En la comprobación para ver si la relación hallada es la verdadera, da una ecuación del Coeficiente de Correlación (r)

$$(4) r_{xy}^2 = \frac{\sum (Y)a + \sum (XY)b + \sum (X^2Y)c + \sum (X^3Y)d + \dots - N c_y^2}{\sum (Y^2) - N c_y^2}$$

Siendo:

$$(5) c_y = \frac{\sum (Y)}{N}$$

1) Cálculo para hallar la relación entre Torque-Tensión.

Se ha considerado una relación lineal de la forma (ver 24).

$$Y = a + X b$$

TABLA I

X	Y	XY	X ²	Y ²	Y'	d	d ²
3.0	100.0	300.00	9.00	10,000.00	69.208	+30.792	948.147
3.5	50.0	175.00	12.25	2,500.00	74.228	-24.228	586.996
6.0	50.0	300.00	36.00	2,500.00	99.328	-49.328	2,433.251
3.7	66.7	246.79	13.69	4,448.89	76.236	- 9.536	90.935
5.2	65.0	338.00	27.04	4,225.00	91.296	-26.396	696.749
4.5	75.0	337.50	20.25	5,625.00	84.268	- 9.268	84.896
6.0	75.0	450.00	36.00	5,625.00	99.328	-24.328	591.851
5.5	83.3	458.15	30.25	6,938.89	94.308	-11.008	121.176
4.5	86.7	390.15	20.25	7,516.89	84.276	+ 2.484	5.876
9.0	83.3	749.70	81.00	6,938.89	129.448	-46.148	2,129.638
4.5	91.7	412.65	20.25	8,408.89	84.268	+ 7.432	55.235
4.0	93.3	373.20	16.00	8,704.89	79.248	+14.052	197.459
5.0	93.3	466.50	25.00	8,704.89	89.288	+ 4.012	16.096
7.0	93.3	653.10	49.00	8,704.89	109.368	-16.068	258.181
5.5	98.3	540.65	30.25	9,662.89	94.308	+ 3.992	15.936
6.0	99.1	594.60	36.00	9,820.81	99.328	- 0.228	0.052
8.0	100.0	800.00	64.00	10,000.00	119.408	-19.408	376.670
7.5	108.3	812.25	56.25	11,728.89	114.380	- 6.080	36.966
9.0	108.3	974.70	81.00	11,728.89	129.448	-21.148	447.238
6.0	115.0	690.00	36.00	13,225.00	99.328	+15.672	245.611
8.0	116.7	933.60	64.00	13,618.89	119,408	- 2.708	7.333
7.0	121.7	851.90	49.00	14,810.89	109.368	+12.332	152.078
11.0	125.0	1,375.00	121.00	15,625.00	149.528	-24.528	601.623
11.6	125.0	1,450.00	134.56	15,625.00	155.552	-30.552	933.425
10.0	128.3	1,283.00	100.00	16,460.89	139.488	-11.188	125.171
8.5	128.3	1,090.55	72.25	16,460.89	124.428	+ 3.872	14.992
7.5	128.3	962.25	56.25	16,460.89	114.380	+13.920	193.766
12.0	133.3	1,599.60	144.00	17,768.89	159.568	-26.268	690.008
6.0	135.0	810.00	36.00	18,225.00	99.328	+35.672	1,272.491
6.0	140.0	840.00	36.00	19,600.00	99.328	+40.672	1,654.211
8.5	140.0	1,190.00	72.25	19,600.00	124.428	+15.572	242.487
8.0	141.7	1,133.60	64.00	20,078.89	119.408	+22.292	496.933
9.5	145.0	1,377.50	90.25	21,025.00	134.468	+10.532	110.923
10.0	150.0	1,500.00	100.00	22,500.00	139.488	+10.512	110.502
10.5	150.0	1,575.00	110.25	22,500.00	144,508	+ 5.492	30.162
10.7	150.0	1,605.00	114.44	22,500.00	146.516	+ 3.484	12.138
11.0	150.0	1,650.00	121.00	22,500.00	149.528	+ 0.472	0.223
12.0	150.0	1,800.00	144.00	22,500.00	159.568	- 9.568	91.547
13.0	150.0	1,950.00	169.00	22,500.00	169.608	-19.608	384.474
14.0	158.3	2,216.20	196.00	25,058.89	179.648	-21.348	455.737
15.0	158.3	2,374.50	225.00	25,058.89	189.688	-31.388	985.206

X	Y	XY	X ²	Y ²	Y'	d	d ²
9.0	166.7	1,500.30	81.00	27,788.89	129.448	+37.252	1,387.711
12.0	166.7	2,000.40	144.00	27,788.89	159.568	+ 7.132	50.865
13.0	166.7	2,167.10	169.00	27,788.89	169.608	- 2.908	8.456
13.0	176.7	2,297.10	169.00	31,222.89	169.608	+ 7.092	50.296
13.5	183.3	2,474.55	182.25	33,598.89	174.628	+ 8.672	75.203
12.2	188.3	2,297.26	148.84	35,456.89	161.576	+26.724	714.172
12.5	200.0	2,500.00	156.25	40,000.00	164.588	+35.412	1,254.010
15.0	200.0	3,000.00	225.00	40,000.00	189.688	+10.312	106.337
13.8	235.0	3,243.00	190.44	55,225.00	177.640	+57.360	3,290.170

De la siguiente tabla se obtiene la suma de los valores por hilera siendo: $N = 50$; $\sum(X) = 437.2$; $\sum(Y) = 6,343.9$; $\sum(XY) = 61,110.35$; $\sum(X^2) = 4,382.56$; $\sum(Y^2) = 886,356.95$; $\sum(d^2) = 24,842.609$.

El valor Y' se ha obtenido de desarrollar la fórmula de la recta reemplazando los valores de a y b obtenidos de acuerdo a las relaciones (1) y (2), y "d" es la diferencia entre el valor hallado en la práctica y el hallado por medio de la fórmula.

Reemplazando los valores hallados en la tabla I en las ecuaciones de la recta (1) y (2) se obtiene los valores de a y b, resolviendo estas ecuaciones:

$$a = 39.088 \quad ; \quad b = 10.040$$

entonces se tendrá la ecuación:

$$Y = 39.088 + 10.040 X$$

esta sirve para hallar la Y' y como consecuencia a d.

Considerando una validez de los valores del 90%,
ver Texto (ver 25) se tiene:

Desviación Normal o Error Normal (\sqrt{s})

$$\sqrt{s} = \pm \sqrt{\frac{\sum (d^2)}{N - 1}}$$

reemplazando valores se obtiene $\sqrt{s} = \pm 22.28$

Luego:

$$\text{Error Probable } 90\% = 1.6449 \times \sqrt{s} = 1.6449 \times 22.28 = \pm 36.65$$

$$\text{Error Probable } 95\% = 1.9599 \times \sqrt{s} = 1.9599 \times 22.28 = \pm 43.67$$

Estos valores han sido representados en el gráfico 1 y se puede observar la variación cuando se considera una probabilidad del 90% y del 95%.

2) Cálculo para obtener una relación más representativa de los valores que relaciona la Tensión en Libras y Grados de inclinación

TABLA II

X	Y	XY	X ²	X ² Y	X ³	X ⁴	Y ²
0	14.3	0.0	0	0.0	0	0	204.49
1	12.4	12.4	1	12.4	1	1	153.76
2	13.9	27.8	4	55.6	8	16	193.21
4	9.5	37.0	16	152.0	64	256	90.25
5	12.4	62.0	25	310.0	125	625	153.76
6	8.5	51.0	36	306.0	216	1,296	72.25
8	10.1	80.8	64	952.4	512	4,096	102.01
9	6.9	62.1	81	558.9	729	6,561	47.61
10	10.1	101.0	100	1,010.0	1,000	10,000	102.01
10	8.5	85.0	100	850.0	1,000	10,000	72.25
12	7.0	84.0	144	1,008.0	1,728	20,736	49.00
13	8.0	104.0	169	1,352.0	2,197	28,561	64.00
14	6.9	96.6	196	1,449.0	2,744	38,416	47.61
15	9.8	147.0	225	2,205.0	3,375	50,625	96.04
15	8.0	120.0	225	1,800.0	3,375	50,625	64.00
16	8.2	131.2	256	2,099.2	4,096	65,536	67.24
18	7.8	140.4	324	2,527.2	5,832	104,976	60.84
19	6.9	131.1	361	2,490.9	6,859	130,321	47.61
20	8.0	160.0	400	3,200.0	8,000	160,000	64.00
20	6.1	122.0	400	2,400.0	8,000	160,000	37.21
21	6.6	138.6	441	2,910.6	9,261	194,481	43.56
23	6.8	156.4	529	3,597.2	12,167	279,841	46.24
24	7.1	170.4	576	4,089.6	13,824	331,776	50.41
25	5.9	147.5	625	3,687.5	15,625	390,625	34.81
26	6.5	169.0	676	4,394.0	17,576	456,976	42.25
27	5.8	156.6	729	4,228.2	19,683	531,441	33.64
28	5.5	154.0	784	4,312.0	21,952	614,656	30.25
30	5.8	174.0	900	5,220.0	27,000	810,000	33.64

De la siguiente tabla se obtiene la suma de los valores por hilera siendo: $N = 28$; $\sum (X) = 421$; $\sum (Y) = 233.3$; $\sum (XY) = 3,021.9$; $\sum (X^2) = 8,387$; $\sum (X^2Y) = 57,217.7$; $\sum (X^3) = 186,949$; $\sum (X^4) = 4,452,443$; $\sum (Y^2) = 2,103.95$

A.- Reemplazando los valores hallados en la Tabla II, en las ecuaciones de la recta (1) y (2), resolviendo estas ecuaciones se obtienen los valores de a y b, y son:

$$a = 11.88 \quad ; \quad b = -0.236$$

de la fórmula (5) se tiene que: $C_y = \frac{\sum(Y)}{N} = \frac{233.3}{28} = 8.332$

luego: $C_y^2 = 69.424$

conociendo estos valores los relacionaremos en la fórmula (4) para obtener el coeficiente de correlación, el cual nos dará una referencia si la ecuación hallada es la más representativa de todos los valores encontrados en la práctica, y es:

$$r_{xy}^2 = 0.716 \quad , \quad \text{sacando la raíz cuadrada : } r_{xy} = 0.844$$

B.- Reemplazando los valores de la Tabla II, en las ecuaciones de la parábola (1), (2) y (3), resolviendo estas ecuaciones se obtienen los valores de a, b y c, los cuales son:

$$a = 13.653 \quad ; \quad b = -0.597 \quad ; \quad c = 0.012$$

de la fórmula (5) se tiene que: $C_y = \frac{\sum(Y)}{N} = \frac{233.3}{28} = 8.332$

Luego : $C_y^2 = 69.424$

conociendo estos valores los relacionaremos en la fórmula 4, para obtener el coeficiente de correlación, y es:

$$r_{xy}^2 = 0.774, \text{ sacando la raíz cuadrada : } r_{xy} = 0.88$$

De acuerdo a los valores hallados se observa que el coeficiente de correlación de la parábola es mayor que el de la recta. Lo que indica que la relación de los valores obtenidos están mejor representados por la fórmula de la parábola siguiente:

$$Y = 13.653 - 0.597 X + 0.012 X^2$$

De forma similar se ha relacionado los datos obtenidos en la relación, del efecto del disparo en la tensión de instalación de un perno y del efecto del tiempo en la tensión de instalación, también. Obteniéndose para el primero la siguiente ecuación:

$$Y = 46.698 - 8.575 X + 0.595 X^2 \text{ (gráfico 3).}$$

y para el segundo:

$$Y = 10.839 - 0.966 X + 0.052 X^2 \text{ (gráfico 4).}$$

APENDICE II

1.- ESPECIFICACIONES ESTANDARD DE LOS PERNOS DE ANCLAJE (APROBADA POR AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION)

Especificaciones del acero.- Todos los pernos de anclaje para mina son hechos en hornos de hogar abierto o eléctricos, de acero, de acuerdo a las Especificaciones de Ensayo para las Barras Acero-Carbón sujetas a los Requerimientos de Propiedades Mecánicas ASTM de Designación: A-306, último término.

Las barras de los pernos para roca están hechos teniendo las siguientes propiedades de resistencia, mostr

das en la Tabla I.

TABLA I	Resistencia a la tracción psi	Carga Límite psi	Elongación, en una longitud indicadora de 8-pulg.
Pernos de regular Resistencia de cabeza o Ranurados	60,000 min.	30,000 min.	17 %
Pernos de Alta Resistencia	80,000 min.	40,000 min.	12 %

Dimensiones del Perno.- En la Fig. 1 se muestra esencialmente, las dimensiones básicas y mínimas de los pernos para roca de 5/8-pulg. y 3/4-pulg. de cabeza cuadrada y pernos ranurados de 1-pulg. Estos no son propuestos para impedir el uso del reforzamiento especial, de cabeza esquinadas o centradas en si mismas si el consumidor así lo desea.

Ajuste de Ranura.- Todo el ranurado deberá aceptar una Clase 2 "Conviniendo" al anillo indicador.

Mercado de la Cabeza del Perno:

(1) La longitud en pulgadas deberá ser marcada en la cabeza de cada perno. Por ejemplo la figura 60 se muestra indicando un perno de 5 pies (60 pulg.).

(2) Todos los pernos de alta resistencia de 5/8-pulg. serán marcadas con una estrella de 5 puntas de una

medida aproximadamente de 1/4-pulg. Todos los pernos de alta resistencia de 3/4-pulg. serán marcadas con un triángulo de medida aproximadamente de 1/4-pulg.

(3) Cada cabeza de los pernos deberá ser marcada para identificar al fabricante.

Caparazón o Mariposa.- El material para el caparazón y cuña deberá someterse a los requerimientos de las Especificaciones de la ASTM para Hierros de Colada Maleable A-47 último término Grado 32510, o también ser de acero forjado con un contenido máximo de Azufre de 0.23%.

Cuñas para Pernos Ranurados

Las cuñas pueden ser hechas de acero o hierro de colada maleable de conformidad con lo siguiente:

Especificaciones del acero.- La misma que para los pernos de regular resistencia, señaladamente; hornos de acero a hogar abierto o eléctrico, de conformidad con las designaciones de la ASTM para Hierro de Colada Maleables A-47, último término, Grado 32510.

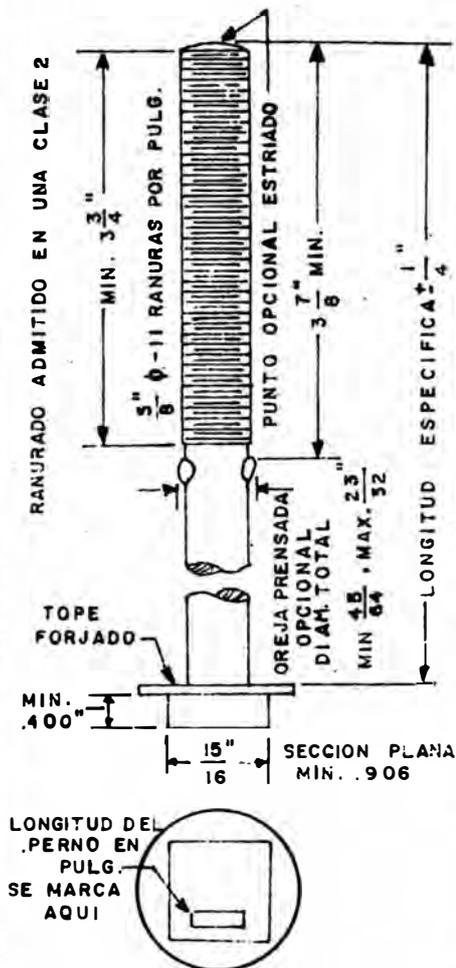
Dimensiones Básicas:

Longitud : Mínima 5 1/2-pulg. y máxima de 6-pulg.

Ancho : 3/4-pulg.

Espesor : de 3/4-pulg., 7/8-pulg. ó 1-pulg. Cónico para el punto cincelado de un espesor máximo de 1/16-pulg.

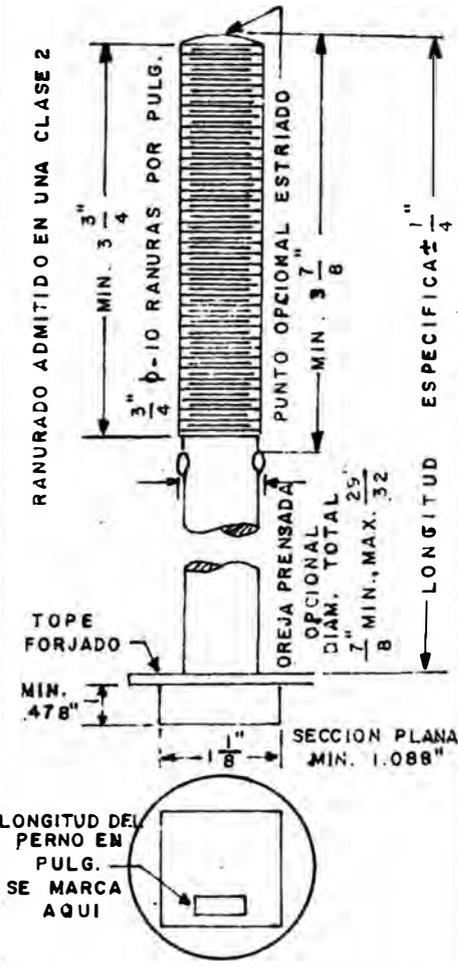
PERNO DE ROCA PARA MINA DE
 $\frac{3}{8}$ " CABEZA CUADRADA
 SIN ESTRIAS



PROPIEDADES DE TRACCION

	CARGA LIMITE MINIMA	CARGA DE ROTURA MINIMA
ALTA RESISTENCIA	9,040 LBS.	10,060 LBS.

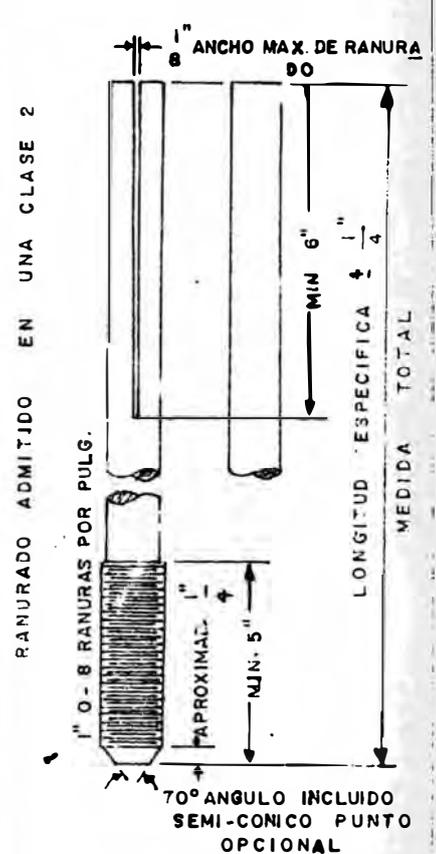
PERNO DE ROCA PARA MINA DE
 $\frac{3}{4}$ " CABEZA CUADRADA
 SIN ESTRIAS



PROPIEDADES DE TRACCION

	CARGA LIMITE MINIMA	CARGA DE ROTURA MINIMA
REGULAR	10,020 LBS.	20,040 LBS.
ALTA RESISTENCIA	13,360 LBS.	26,720 LBS.

PERNO DE ROCA RANURADO
 PARA MINA DE 1"



EXTREMO RANURADO AJUSTADO A UN(1) AM. STD. REG. CUADRADO INCOMPLETO (1 $\frac{1}{2}$ " x $\frac{7}{8}$ " TOPE 1") O AM. STD. TUERCA HEX. DURA INCOMPLETA (1 $\frac{5}{8}$ " x 1" TOPE 1")

PROPIEDADES DE TRACCION

CARGA LIMITE MIN.	18,180 LBS.
CARGA DE ROTURA MIN.	36,360 LBS.

FIGURA 1

Plancha para Techo de Mina

Especificaciones del acero.- Cualquier horno de acero de hogar abierto o eléctrico conveniente para horadar y cortar puede ser usado. Si el acero Bessemer es usado el contenido de carbón deberá ser de un máximo de 0.15% y el contenido de manganeso deberá ser de un máximo de 1.00%.

Espesor.- Opcional, excepto que las planchas bajo 5/16 pulg. colocada directamente contra el techo de mina deberá ser realizado.

Arandelas Angulares, Uniones y Canaletas

Especificaciones del acero.- Estos productos deben ser hechos en hornos de acero de hogar abierto o eléctrico, en la cual lo siguiente no debe ser excedido:

Carbón 0.40 %

Fósforo 0.04 %

Azufre 0.05 %

2.- PRUEBAS DE LA RELACION TORQUE-TENSION (EFECTUADAS POR LA BETHLEHEM ROOF AND ROCK BOLTS)

Sin arandelas de acero endurecido, la tensión del perno en un perno de roca de 5/8-pulg., varía desde los 2,800 lb. a 6,000 lb., con un torque de 150 lb-ps., o una variación de 114.3%. Usando arandelas de acero endurecido y el mismo torque, la tensión varía desde 9,100 lb. a 10,600

lb., o solamente 16 1/2%.

La relación Torque-Tensión se expresa en la fórmula:

$L = T.C.$ donde: L = Tensión del perno, lb.

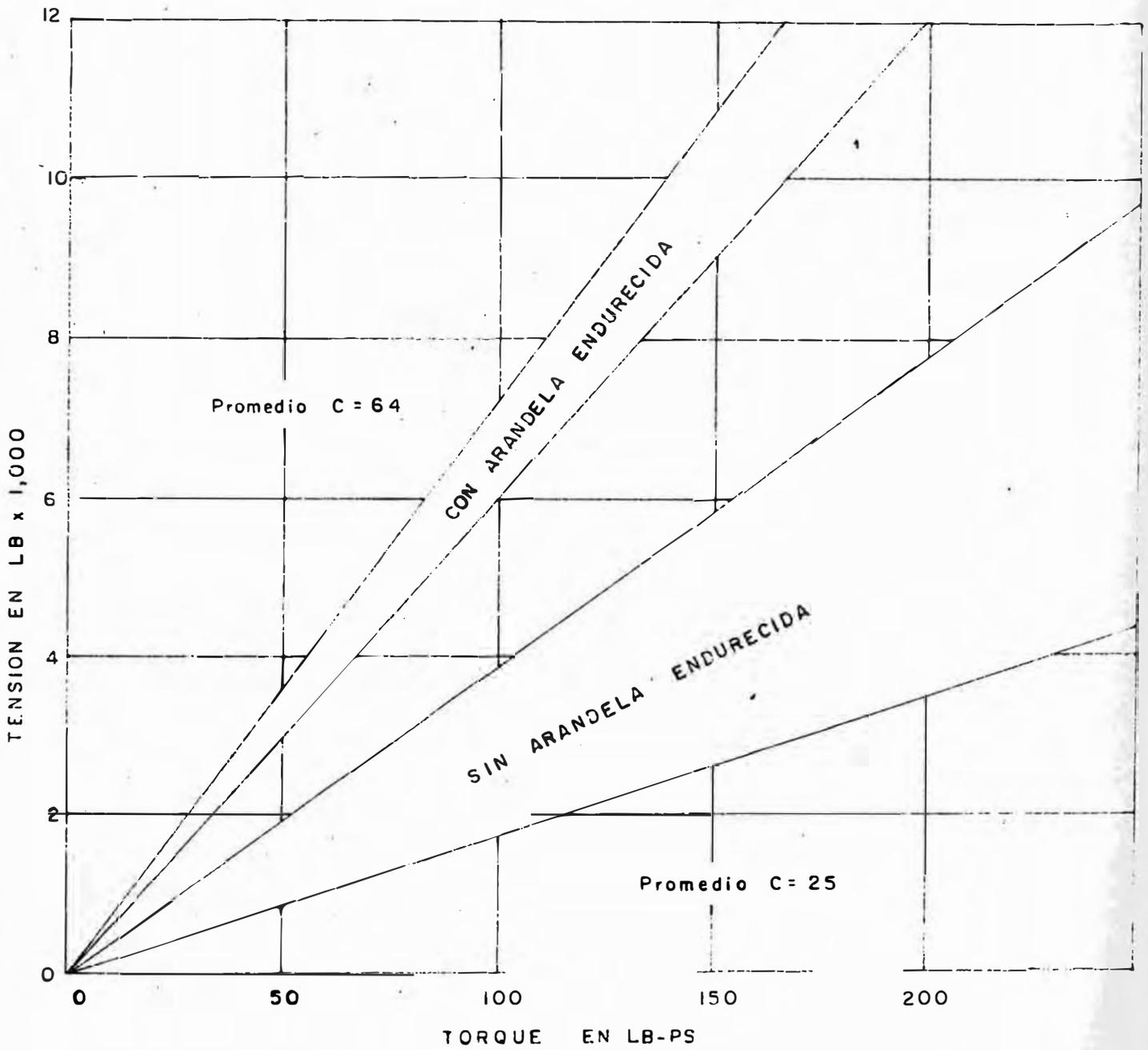
T = Torque, ft-lb.

C = Factor de fricción.

Para pernos de techo de 5/8-pulg., el valor promedio para C con arandela endurecida es de 64. Sin la arandela endurecida, es de 25.

Colocando una arandela endurecida bajo la cabeza reduce la fricción, resultando las siguientes ventajas:

1. Alta Tensión para un torque dado.
2. Bajo torque para una Tensión dada.
3. Mayor uniformidad de la tensión del perno en el lugar de trabajo.
4. Mayor control del techo por eliminación de pernos los cuales no desarrollan una tensión adecuada. Figura 2.



(Copiado de Revista de la BETHLEHEM STEEL)

FIGURA 2

R. YAMPI B.

3.- TABLA DE COMPOSICIONES DEL ACERO (DADA POR LA SIDER-
PERU)

Acero en Lingotes y Semi-Productos

Composición química en cuchara

DESIGNACION	NORMA AISI EQUIVALENTE	C %	Mn %	P % Máximo	S % Máximo
S 06 A	C 1006	0.08 máx.	0.25/0.40	0.040	0.050
S 08 A	C 1008	0.10 máx.	0.25/0.50	0.040	0.050
S 10 A	C 1010	0.08/0.13	0.30/0.60	0.040	0.050
S 12 A	C 1012	0.10/0.15	0.30/0.60	0.040	0.050
S 15 A	C 1015	0.13/0.18	0.30/0.60	0.040	0.050
S 17 A	C 1017	0.15/0.20	0.30/0.60	0.040	0.050
S 20 A	C 1020	0.18/0.23	0.30/0.60	0.040	0.050
S 23 A	C 1023	0.20/0.25	0.30/0.60	0.040	0.050
S 25 A	C 1025	0.22/0.28	0.30/0.60	0.040	0.050
S 30 A	C 1030	0.28/0.34	0.60/0.90	0.040	0.050
S 35 A	C 1035	0.32/0.38	0.60/0.90	0.040	0.050
S 40 A	C 1040	0.37/0.44	0.60/0.90	0.040	0.050
S 45 A	C 1045	0.43/0.50	0.60/0.90	0.040	0.050
S 50 A	C 1050	0.48/0.55	0.60/0.90	0.040	0.050
S 55 A	C 1055	0.50/0.60	0.60/0.90	0.040	0.050
S 60 A	C 1060	0.55/0.65	0.60/0.90	0.040	0.050
S 70 A	C 1070	0.65/0.75	0.60/0.90	0.040	0.050
S 80 A	C 1080	0.75/0.88	0.60/0.90	0.040	0.050
S 90 A	C 1090	0.85/0.98	0.60/0.90	0.040	0.050

Se puede especificar el Silicio de S 06 A a S 12 A, sin li-
mitación ó 0.10 como máximo

De S 15 A a S 90 A, sin limitación ó 0.10 como máximo ó
0.10/0.20 ó 0.15/0.30.

INDICE DE FOTOGRAFIAS

- Foto 1.- Frente llevado con pernos.
- Foto 2.- Empleo de malla en un frente.
- Foto 3.- Mal empleo del Sistema de Empernado, pues los pernos no llevan la distribución adecuada.
- Foto 4.- Falla del sostenimiento con pernos, debido al mal apoyo y posterior pérdida de tensión (frente).
- Foto 5.- Falla del sostenimiento con pernos, debido a la fuerza cortante presente en las cajas de los tajos. Al estar el perno mal ajustado (tajo).
- Foto 6.- Sistema de Empernado, se ve en él un cabezal con mal apoyo en el alza (tajo).
- Foto 7.- El uso necesario de cuadros de madera, por falla del perno, debido a la presión presente en las cajas (lateral).
- Foto 8.- Dándole la tensión de anclamiento a un perno con el uso de la "cachimba". No recomendable.
- Foto 9.- Ajustando un perno con una empernadora. Lo más recomendable.
- Foto 10.- Chequeando el torque respectivo de un perno, con la llave torque (en pruebas).
- Foto 11.- El empleo del Medidor Sud-africano, que relacio-

na el Torque-Tensión. En el dial se observa los valores de la tensión, y las aletas sirven para dar al perno dicha tensión.

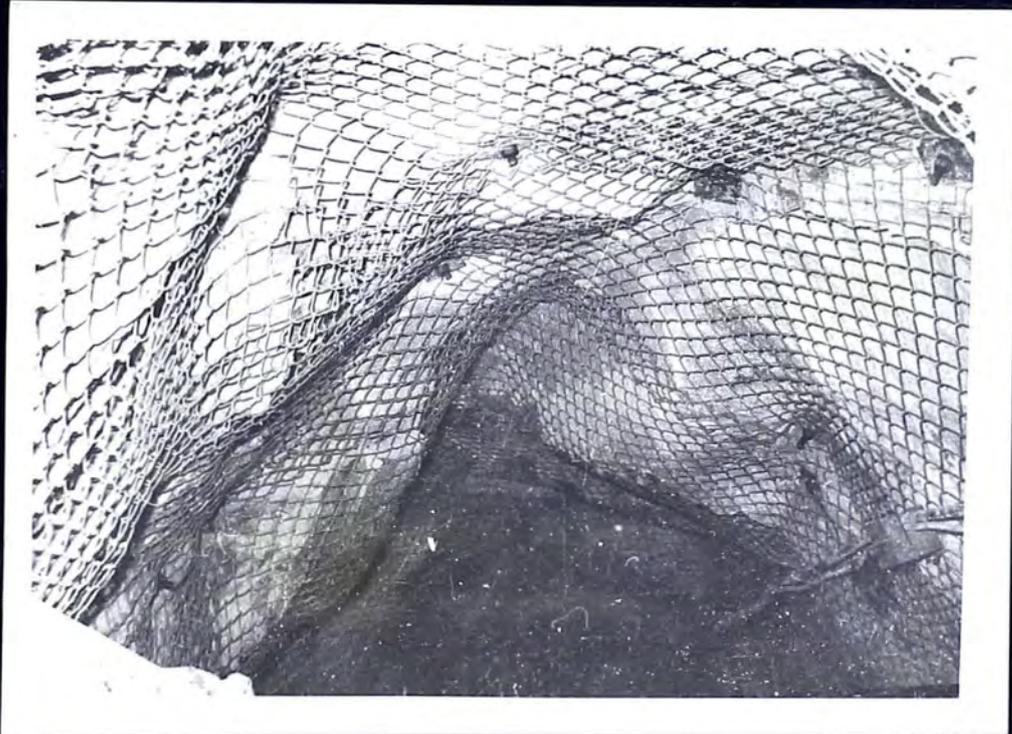
Foto 12.- Empleo del Medidor de Potencia del perno (en zona de pruebas).

Foto 13.- Cápsula de Resina, Perno Tipo 3, Perno Tipo 1 (estándar) y Perno Tipo 2 (respectivamente).

Foto 14.- Reemplazo del perno para sostenimiento de tuberías, el cual es satisfactorio, y además se observa la bóveda de descarga formada en un frente de 2.40 x 2.40 mts. de sección.



№ 1



№ 2



№ 3



№ 4



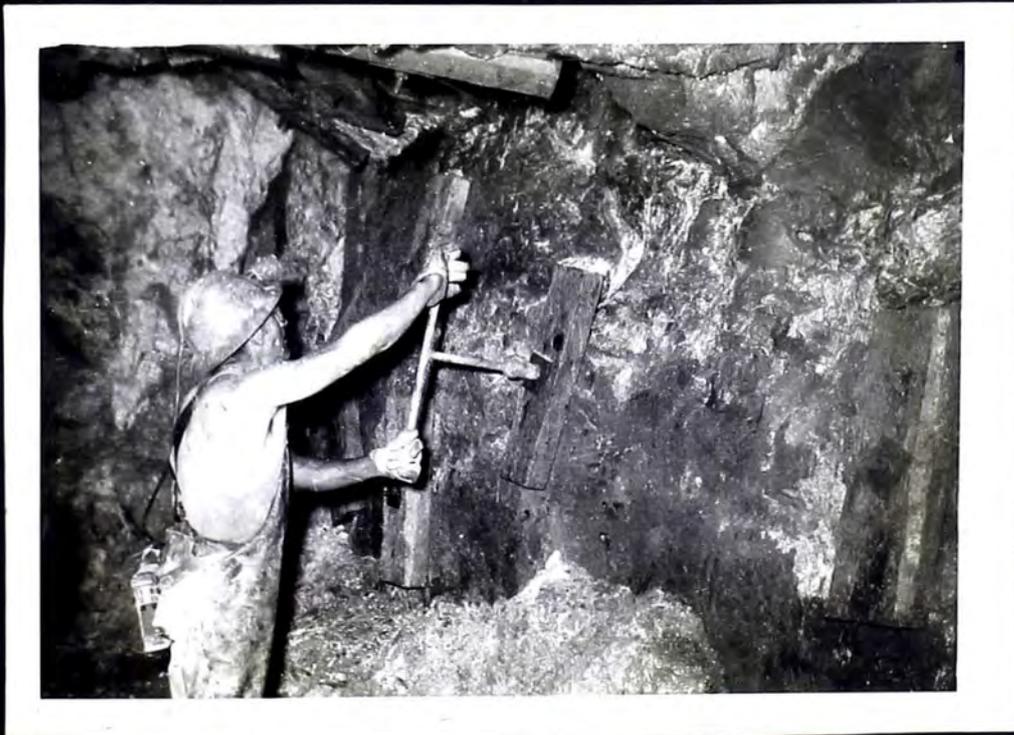
Nº 5



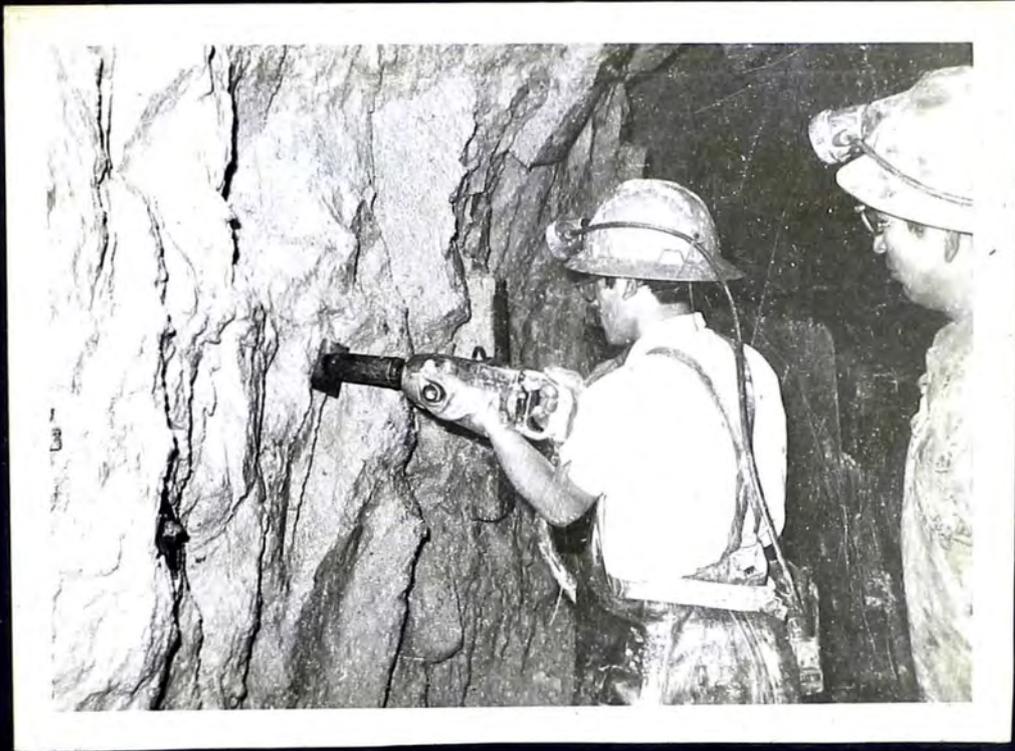
Nº 6



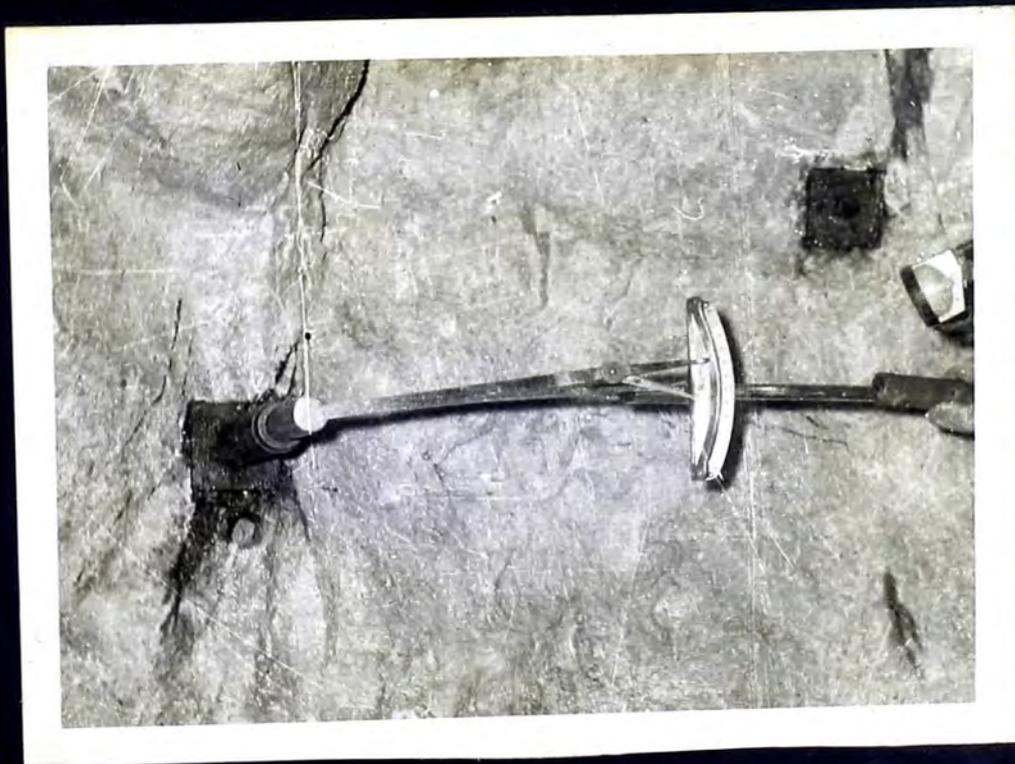
Nº 7



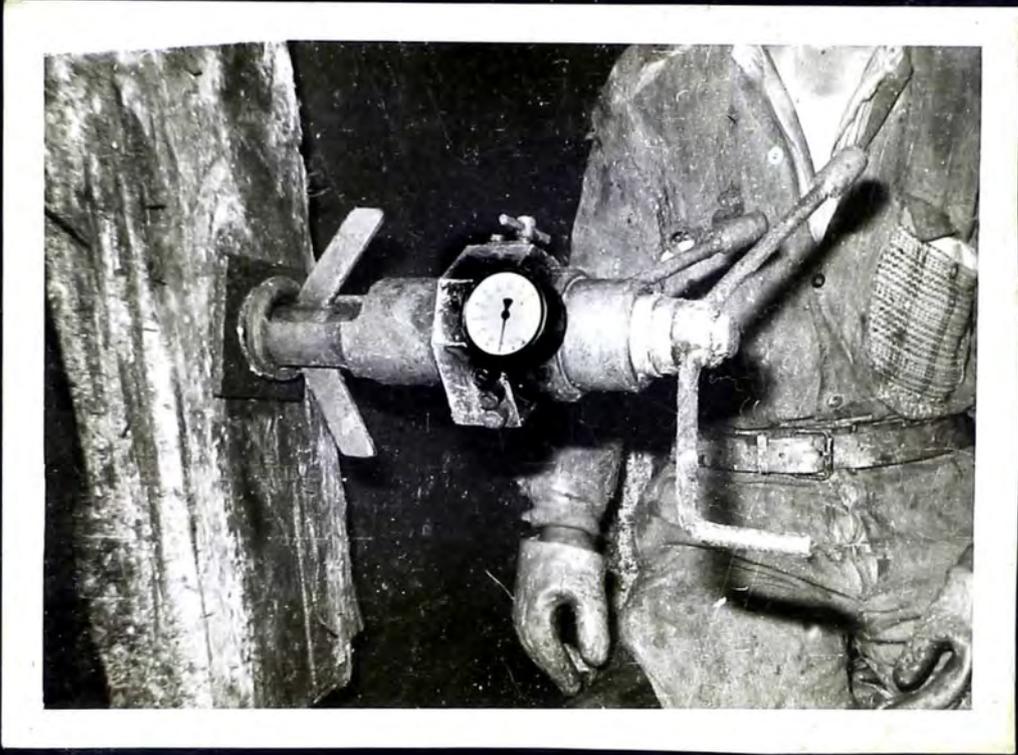
Nº 8



Nº 9



Nº 10



№ 11



№ 12



Nº 13



Nº 14

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Use of Torque Wrench to determine Load in Roof Bolts.
Por: A.J. Barry. L.A. Panek and John A. McCormick.
AIME.
- 2.- You can drill smaller diameter roof bolt holes.
Por: Arnold B. Bower. Published Coal Age.
- 3.- Bethlehem Roof and Rock Bolts.
Por: Revista de Bethlehem Steel.
- 4.- Geometría Analítica.
Por: Charles H. Lehmann.
- 5.- Mine Roof and Roof Bolt Behavior Resulting from Nearby Blasts.
Por: Charles J. Stehlik. Bureau of Mines 1964. Report of Investigations 6372.
- 6.- Use of Resins in Mine Roof Support Part II.
Por: D.C. Mclean, S.A. Mackay. Society of Mining Engineers December 1964.
- 7.- Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros.
Por: D.P. Krynine, William R. Judd.
- 8.- Rock Bolt Pull Test Equipment.
Por: H.K. Schmuck. The Colorado Fuel and Iron Corporation Pueblo, Colorado.
- 9.- Rock Bolts applications in construction.

Por: Howard K. Schumuck and Donald R. Silgestrom.
AIME.

10.- Engineering Properties of Rocks.

Por: I.W. Farmer.

11.- La Mécanique des Roches.

Por: J.A. Talobre.

12.- Anchorage Characteristics of Roof Bolts.

Por: Louis A. Panek. Mining Congress Journal November
1957.

13.- Roff-bolt Testing.

Por: Published by OHIO BRASS Co.

14.- Roff Bolts.

Por: Pallas International A B Göteborg Sweden.

15.- Fast Setting Resins in Ground Reinforcing.

Por: S.A. Mackay and Roger Guimond. U.S. Bureau of Mi
nes.

16.- Rock Bolts. Theory and Practices in Tunnel Construc-
tion and Rock Excavation.

Por: Seth D. Woodruff. AIME

17.- Methods of Working Coal and Metal Mines. Vol. II.

Por: Seth D. Woodruff. †

18.- Theory and Practice of Rock Bolting.

Por: Thomas A. Lang. AIME. Transactions 1962. Vol. 223.

19.- Técnica Moderna de Voladuras de Rocas.

Por: U. Langefors, B. Kihlstrom.

20.- Recent Developments in Roof Bolting and Roof Bolt Installation Procedure.

Por: P.S. Thiel. The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, October 1964.

21.- Rockbolting Practices Northern Peru Mining Corporation Quiruvilca Mine.

Por: J.H. Houtman and J. Solano.

22.- El Empernado de Rocas.

Por: Hugon, A. y Costes A.

23.- Bouble Anchors for Roof Bolts.

Por: Frank L. Dillard. Mining Congress Journal Sep. 1969.

24.- Elements of Mining.

Por: Lewis and Clark.

25.- Topografía Elemental.

Por: Brinker, Taylor.

26.- Métodos Estadísticos Aplicados a la Economía y a los Negocios.

Por: F. Cecil Mills.

27.- Recent Developments in Rock Engineering.

Por: John J. Reed. Mining Congress Journal May. 1969.