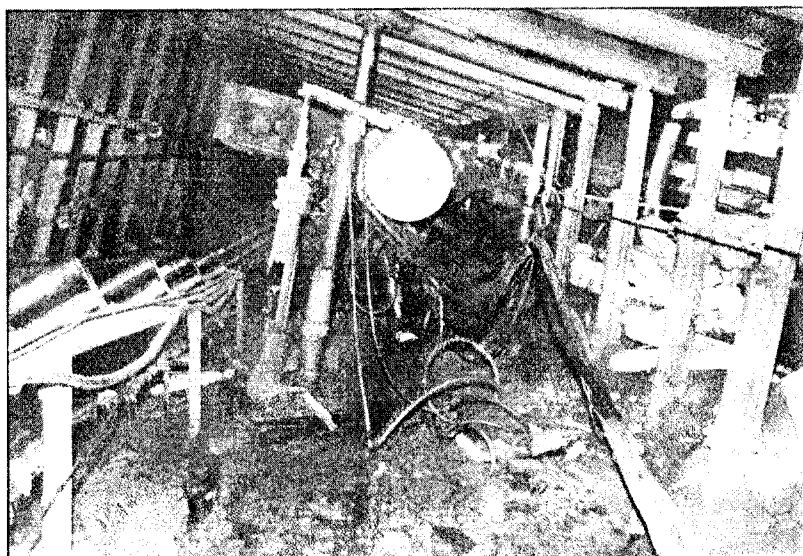


CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE LAS GALERIAS EN CARBON

CUADROS METALICOS
BULONES
MADERAS
OTROS MATERIALES



JOSE MARIA PERNIA LLERA
BENJAMIN CELADA TAMAMES
JOSE MARIA RODRIGUEZ ORTIZ



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00933

Ortúzar Abril 1987

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE LAS GALERIAS EN CARBON

**CUADROS METALICOS
BULONES
MADERAS
OTROS MATERIALES**

JOSE MARIA PERNIA LLERA
BENJAMIN CELADA TAMAMES
JOSE MARIA RODRIGUEZ ORTIZ



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE LAS GALERIAS EN CARBON

— DIRECCION Y SUPERVISION:

José María Pernía Llera

Ingeniero de Minas

DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA IGME

— HAN PARTICIPADO EN EL ESTUDIO DE MADERAS Y OTROS ELEMENTOS DE PROTECCION:

José María Rodríguez Ortíz

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

E.A.T., S.A.

Javier Castanedo Navarro

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

E.A.T., S.A.

José Luis Sanz Contreras

Ingeniero de Minas

E.A.T., S.A.

— HAN PARTICIPADO EN EL ESTUDIO DE CUADROS METALICOS Y BULONES:

Benjamín Celada Tamames

Dr. Ingeniero de Minas

GEOCONTROL, S.A.

Rafael Juárez Ferreras

Ingeniero de Minas

GEOCONTROL, S.A.

Pedro Varona Eraso

Alumno de 6º Año de la E.T.S. de

Ingenieros de Minas de Madrid

GEOCONTROL, S.A.

Esta publicación es un resumen del proyecto denominado INVESTIGACION PARA DEFINIR LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE GALERIAS EN CARBON DESDE UN PUNTO DE VISTA GEOMECANICO, que ha sido REALIZADO PARA LA Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia por E.A.T., S.A. y GEOCONTROL, S.A.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	5
2. ALCANCE Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	5
3. CUADROS METALICOS	6
3.1 Tipos de perfiles utilizados	6
3.2 Normas de consulta	6
3.3 Ensayos	7
3.3.1. Ensayos de deslizamientos de perfiles restos TH	7
3.3.1.1. Resultados	8
3.3.1.2. Análisis de los ensayos	9
3.3.1.2.1. Tipos de uniones	9
3.3.1.2.2. Influencia de la oxidación	11
3.3.1.2.3. Reutilización	11
3.3.1.2.4. Reapriete de las cargas	12
3.3.1.3. Aplicaciones prácticas derivadas de los ensayos de deslizamiento	12
3.3.2. Ensayos a tracción sobre los tornillos de las grapas	12
3.3.3. Ensayos a flexión	12
3.3.3.1. Ensayos a flexión sobre perfiles rectos TH	13
3.3.3.2. Ensayos a flexión sobre uniones de perfiles TH rectos	13
3.3.3.3. Aplicaciones prácticas derivadas de los ensayos de flexión	13
3.4 Recomendaciones para el uso de cuadros TH en guías en carbón	15

4. BULONES	15
4.1. Bulones de anclaje repartido	16
4.2. Normas de consulta aplicables	16
4.3. Ensayos de tracción sobre bulones de anclaje repartido	16
4.3.1. Metodología de los ensayos	16
4.3.2. Tipos de ensayos	16
4.3.2.1. Ensayos de resistencia	17
4.3.2.2. Ensayos de determinación de adherencia	17
4.4. Análisis de los ensayos	17
4.4.1. Influencia del diámetro del bulón	18
4.4.2. Elección de la relación diámetro barreno/diámetro bulón	18
4.4.3. Volumen del mortero	19
4.4.4. Evolución de la adherencia con el tiempo	19
4.4.5. Placas de base, tuercas y otros elementos del anclaje	20
4.5. Recomendaciones prácticas para realizar ensayos de tracción	20
4.6. Recomendaciones generales para la práctica del bulonaje obtenidas a partir de los ensayos realizados	21
5. LA MADERA COMO ELEMENTO DE PROTECCION EN GALERIAS DE MINA	22
5.1. Propiedades y características de la madera	22
5.1.1. Composición elemental de la madera	25
5.1.2. Características físicas más importantes desde el punto de vista minero	25
5.1.2.1. Humedad	26
5.1.2.2. Peso específico y densidad	28
5.1.3. Características mecánicas	31
5.1.3.1. Compresión axial	32
5.1.3.2. Flexión estática	35
5.1.4. Alteraciones de la madera	35
5.1.4.1. Defectos de la forma	35
5.1.4.2. Defectos de la estructura	36
5.1.4.2.1. Debidos factores internos	36
5.1.4.2.2. Debidos factores externos	37
5.1.4.3. Pudriciones y tratamientos	37
5.1.4.3.1. Destrucciones por hongos	37
5.1.4.3.2. Destrucciones por bacterias	38
5.1.4.3.3. Destrucciones por insectos xilófagos	39
5.1.4.3.4. Tratamientos de la madera con vista a mejorar sus cualidades	40

5.2. Empleo de la madera en minería	40
5.2.1. Tipos	40
5.2.2. Características exigibles a la madera para su utilización como sostenimiento	41
5.2.3. Usos de la madera como elemento de sostenimiento en galerías acompañamiento de tajos en carbón	43
5.3. Estemples - Apeas - Pies - Peones - Dimensionado	43
5.4. Monteras - Cabezales - Trabancas - Dimensionado	45
5.5. Llaves de madera - Curvas tensión-deformación	45
6. OTROS MATERIALES ALTERNATIVOS A LA MADERA	49
6.1 Anhidritas	49
6.1.1. Naturaleza y tipos comerciales	49
6.1.2. Características mecánicas	50
6.2 Elementos prefabricados	56
7. AGRADECIMIENTOS	59
8. BIBLIOGRAFIA	60

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE LAS GALERIAS EN CARBON.

1.- INTRODUCCION.

El INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA se ha venido ocupando de la investigación de aquellos problemas relacionados con las Ciencias de la Tierra que, con carácter de interés general, tienen mayor incidencia en el desarrollo de la minería española.

En el estado actual de conocimientos sobre la problemática que plantea la minería española, y en gran parte debido a los proyectos de investigación que ha realizado el IGME sobre temas de geotecnia aplicada, se tiene una información razonable sobre las características mecánicas de las rocas que componen algunos yacimientos españoles; pero, sin embargo, la situación es más desfavorable en lo que se refiere a los elementos de sostenimiento.

En efecto, la información disponible sobre estos elementos es escasa, dispersa y muy pocas veces los datos manejados han sido contrastados con los oportunos ensayos "in situ" o en laboratorio.

Por todo ello el IGME ha considerado convenientemente la realización de este trabajo que, apoyado en los necesarios ensayos de campo y laboratorio, permite conocer mejor las características tenso-deformacionales y resistentes de algunos de los sostenimientos que se emplean en las galerías en carbón, en la minería española.

Dentro de este contexto general, en el presente volumen se recogen resumidos los resultados del proyecto del IGME anteriormente referido y que ha sido denominado como "INVESTIGACION PARA DEFINIR LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE GALERIAS EN CARBON DESDE UN PUNTO DE VISTA GEOMECANICO".

2.- ALCANCE Y OBJETIVO DEL ESTUDIO.

El objeto del presente estudio ha sido suministrar a los técnicos encargados de las explotaciones mineras unas recomendaciones de buena práctica respecto a la recepción, colocación y capacidad portante de algunos materiales utilizados habitualmente como elementos de sostenimiento en las galerías de minas en carbón.

Los elementos estudiados han sido:

- * Cuadros metálicos deslizantes.
- * Bulones.
- * Madera.
- * Otros elementos alternativos a la madera; anhidrita, hormigón, etc.

y la metodología seguida se ha basado fundamentalmente en la revisión del estado actual de conocimientos en dichos temas y la realización de los correspondientes ensayos que han permitido obtener datos fiables para poder alimentar los modelos de cálculo de las distintas técnicas de diseño de sostenimiento de galerías y tajos en explotaciones de carbón.

3.- CUADROS METALICOS.

Dentro de la categoría de los sostenimientos clásicos, pasivos, los cuadros metálicos son quizás los más utilizados en la actualidad, tanto en las galerías de las minas de carbón como en los túneles de ingeniería civil.

Esto es debido a la necesidad de realizar galerías subterráneas cada vez mayores, más profundas, en terrenos de peor calidad geomecánicamente y con mayores empujes; lo cuál requiere la utilización de elementos de entibación más fiables que la madera utilizada tradicionalmente.

Entre las características de los cuadros metálicos que determinan que éstos sean más fiables, se pueden destacar las siguientes:

- Los aceros utilizados son claramente de mayor resistencia que la madera.
- La homogeneidad es mayor y el control de calidad más fácil.
- Mantienen las características resistentes en el tiempo mucho mejor que la madera, que se puede pudrir o degradar.
- Siempre que no se haya sobrepasado su límite plástico, los perfiles metálicos son recuperables y reutilizables después de un conformado en frío sin perder sus características resistentes.
- Compiten económicamente con la madera en términos reales para una misma demanda de utilización, si se tiene en cuenta el precio de los jornales utilizados en el recambio de madera cuando ésta se ha degradado.

3.1. Tipos de perfiles utilizados.

En general los cuadros metálicos utilizados como elementos de sostenimiento pueden clasificarse en rígidos y deslizantes según tengan o no la capacidad de acomodarse a la reducción de sección de la excavación sostenida. En el caso de cuadros rígidos se utilizan en su construcción piezas de perfiles laminados convencionales unidos mediante tornillos. Estos cuadros se usan preferentemente en el Reino Unido y en U.S.A.

Los cuadros deslizantes están también formados por piezas de acero; pero en este caso, las piezas tienen una sección transversal que las permite deslizar una sobre otras y no van unidas mediante tornillos sino mediante piezas metálicas (grapas) que trabajan a fricción. Estos cuadros se utilizan con gran profusión en toda Europa y en particular en España por lo que este trabajo se ha centrado exclusivamente en el estudio de este tipo de cuadros.

El perfil más utilizado entre los deslizantes es el denominado TH (Toussaint-Heintzmann) que fué introducido en España a principios de la década de los 50 y fundamentalmente tiene las siguientes características:

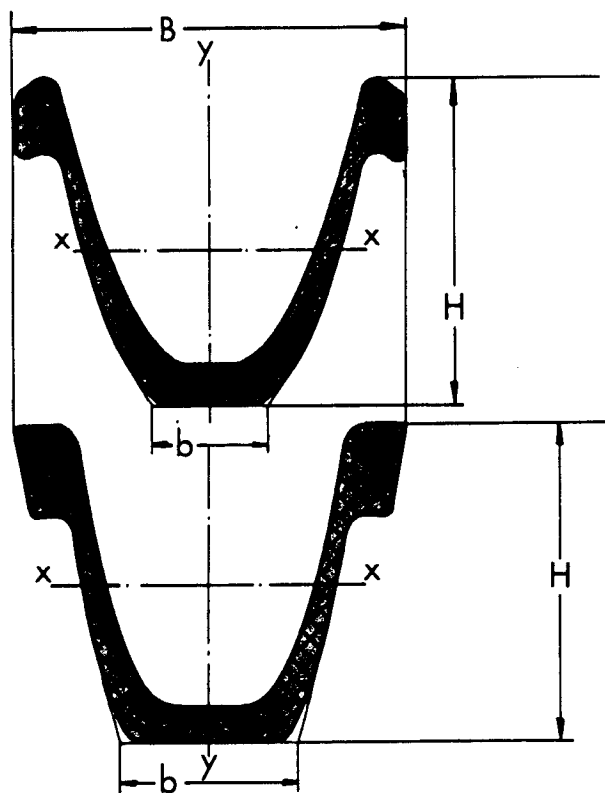
- Posee un elevado momento resistente en todas las direcciones.
- La relación de momentos W_{xx}/W_{yy} es muy próxima a 1, lo que quiere decir que es muy apropiado para resistir esfuerzos tanto longitudinales como transversales.
- Montaje simple y rápido.
- El solape variable permite ajustar la entibación a las variaciones de sección.

En España se ha venido utilizando hasta ahora el perfil 48, sin embargo en la actualidad se está desarrollando el perfil TH-58 (THN). En la tabla nº 1 se muestran algunas características de dichos perfiles.

3.2. Normas de consulta.

Las normas de consulta aplicables son las que se indican a continuación y todas las referidas en las mismas.

- * UNE 7.262 Ensayos de tracción para productos de acero.
- * UNE 7.290 Ensayos de flexión por choque con probeta entallada de productos de acero.
- * UNE 36.007 Condiciones técnicas generales de suministro de productos siderúrgicos.
- * UNE 36.080 Aceros no aleados de uso general. Parte I Productos laminados en caliente por procesos discontinuos para estructuras metálicas.
- * Anteproyecto de norma UNE 22.750-1. Cuadros metálicos para el sostenimiento de galerías. Perfiles metálicos deslizantes tipo TH.
- * Anteproyecto de norma UNE 22.750-2. Cuadros metálicos para el sostenimiento de galerías. Perfiles metálicos deslizantes tipo THN.
- * Norma DIN-21.544.



Perfil 58 nuevo
New 58 section

Perfil 48
48 section

Valor nominal Nominal value	kp/m Typ	13 48	16 48	21 48	25 48	29 58
Altura Height	H mm	85	89	108	118	124
Anchura Width	B mm b mm	98 36	98 36	124 35	135 38	150.5 44
Sección Area of section	F cm	16	20	27	32	37
Peso Weight	G kp/m	13	16	21	25	29
Momento de inercia Moment of inertia	I_x cm ⁴ I_y cm ⁴	137 150	176 196	341 398	484 560	616 775
Momento resistente Moment of resistance	N_x cm ³ W_y cm ³	32 31	40 40	61 64	80 83	94 103

TABLA Nº 1 CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES DE LOS PERFILES TH Y THN EN ESPAÑA.

3.3 Ensayos.

Para tener un conocimiento razonable sobre el comportamiento que se puede esperar de la entibación mediante cuadros metálicos deslizantes se han realizado en el laboratorio ensayos de deslizamiento y flexión sobre perfiles o uniones de perfiles con la ayuda de una prensa adecuada.

Generalmente las condiciones de trabajo "in situ" difieren de las que se pueden simular en el laboratorio; pero estos ensayos proporcionan un orden de magnitud de las capacidades resistentes que se pueden esperar de este tipo de cuadros metálicos para distintas condiciones de colocación utilizadas.

3.3.1. Ensayos de deslizamiento de perfiles rectos TH.

El primer tipo de ensayo que se puede realizar para conocer el comportamiento de un cuadro metálico TH ante los esfuerzos a los que generalmente se ve sometido, es el de deslizamiento de una probeta constituida por 2 tramos rectos de perfil unidos por 2 grapas metálicas.

Este ensayo no refleja exactamente el trabajo del cuadro metálico en la mina, debido fundamentalmente a que el esfuerzo aplicado es paralelo al eje del perfil y a que los tramos de perfil son rectos generalmente; es decir, que se trata de un ensayo en condiciones ideales ya que estas hipótesis se darán difícilmente en el interior de la mina. No obstante, permite conocer la resistencia al deslizamiento de los distintos perfiles, para distintos pares de apriete.

Estos ensayos están íntimamente ligados tanto al tipo de perfil como al tipo de unión entre ambos y a la resistencia a la tracción de los tornillos de las grapas.

3.3.1.1. Resultados.

En este apartado se resumen los resultados de 36 ensayos de deslizamiento realizados sobre uniones de perfiles TH de 16,5-21 y 29 Kg/m con distintos pares de apriete. Los registros de los ensayos se incluyen en el proyecto denominado "Investigación para definir las características de los materiales de protección y sostenimiento de galerías en carbón desde un punto de vista geomecánico" que ha sido realizado por el IGME (1.986); sin embargo en la Figura N° 1 se muestra un ejemplo.

Si se hace un análisis, aunque sea muy superficial, de los ensayos se puede extraer lo siguiente.

ENSAYOS N° 8-1, 8-2

PERFIL THN-21
GRAPA THN (G-405)

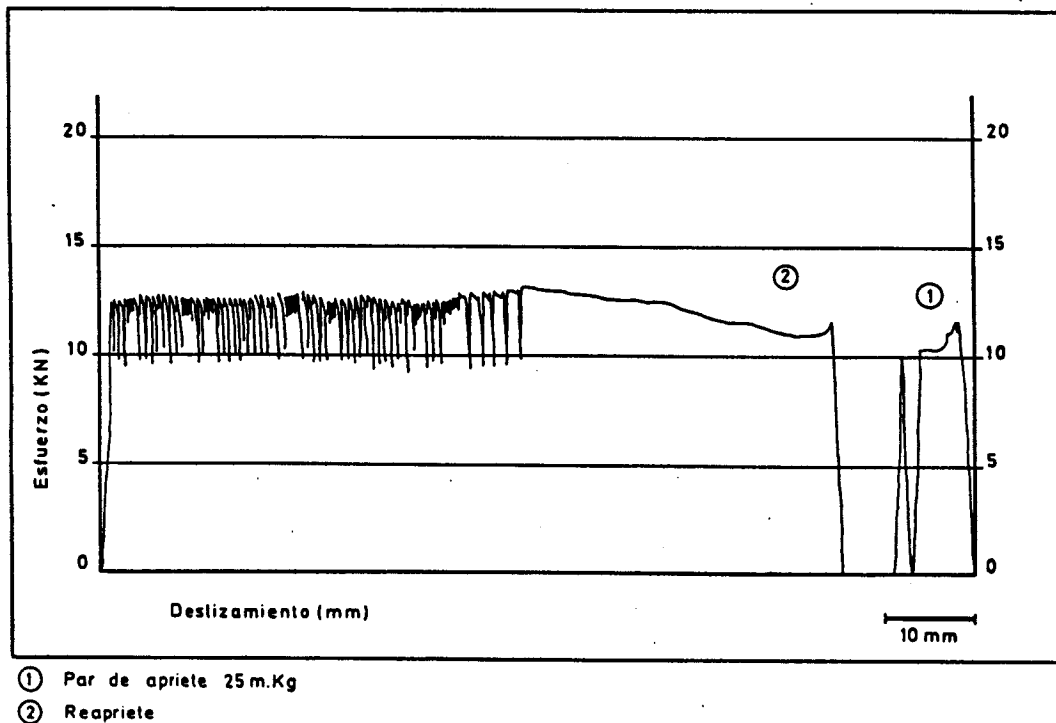


FIGURA N° 1. ENSAYO DE DESLIZAMIENTO SOBRE PERFILES TH.

- Los resultados son más erráticos para los perfiles ensayados con grapas tipo abarcón, al menos en cuanto a la carga de pico antes del deslizamiento.
- Los gráficos obtenidos para este tipo de grapas son los típicos en "diente de sierra", pero con los picos para distintas cargas, lo que refleja un comportamiento más discontinuo que los deslizamientos obtenidos con las uniones tipo G-405.
- El reapriete de las grapas una vez que el cuadro ha sufrido los primeros deslizamientos puede tener una gran importancia en el funcionamiento posterior del cuadro y en la conservación de los tornillos de las grapas.
- Es importante dar un par de apriete adecuado para cada tipo de perfil. No obstante parece haberse determinado que a partir de un óptimo, el dar un mayor par de apriete no significa apenas un aumento de la carga de deslizamiento o una mejora en el funcionamiento del cuadro metálico. Los pares recomendados podrían ser los que se señalan en la tabla siguiente:

Tipo de perfil	Peso (Kg/m)	Par recomendado (Kg.m)
TH	16,5	15
THN	16,5	20
TH	21	20
THN	21	25
THN	29	35

— Las cargas de deslizamiento que se pueden esperar son del orden siguiente, si se han apretado con los pares recomendados:

TH - 16,5 : Entre 5 y 12 toneladas.

TH - 21 : Entre 11 y 18,25 toneladas.

TH - 29 : Entre 15 y 23,5 toneladas.

Hay que tener en cuenta que estos resultados se corresponden a ensayos sobre perfiles rectos y con coeficientes de rozamiento acero-acero constantes. Con esto se quiere indicar una vez más que en subterráneo los resultados pueden variar bastante, ya que el coeficiente de fricción en las condiciones de trabajo (oxidación, humedad, etc.) tomará valores a veces muy dispares. Por otra parte cuando los perfiles no sean rectos o las direcciones de esfuerzos no paralelas al eje del perfil (lo más frecuente) gran parte del trabajo se traslada a los tornillos de alta resistencia, que trabajarán a tracción. En estos casos la unión puede comportarse rígidamente y agotarse a continuación si la colocación no es realizada con precaución.

3.3.1.2. Análisis de los ensayos.

Los ensayos de deslizamiento de perfiles rectos permiten establecer algunas conclusiones sobre el comportamiento que se puede esperar de los cuadros metálicos en perfil TH en las condiciones de utilización de la mina. Es evidente que al tratarse de condiciones ideales de trabajo estos resultados habrá que analizarlos con detalle.

3.3.1.2.1. Tipos de uniones.

Dado que la unión entre los perfiles se ha de realizar mediante "grapas" metálicas y que el funcionamiento del conjunto depende en gran parte de las características de dicha unión, en las Figuras Nº 2 y 3 se muestran los dos tipos de grapas más comúnmente utilizados en España en la actualidad, que son respectivamente la unión tipo abarcón, en extinción y la unión tipo G-405.

Sobre las ventajas teóricas de este último tipo de grapa se puede realizar un estudio más detallado; pero pueden quedar claramente reflejadas en la Figura Nº 4 en la que se muestra el resultado de un ensayo realizado por TEDESA, en su calidad de fabricante y que cortésmente ha cedido a los autores de este trabajo. Examinando este gráfico se puede ver que el deslizamiento es uniforme y constante para la grapa tipo G-405 y se acerca al gráfico ideal que sería una línea recta horizontal. Esto demuestra la utilidad del cambio en el diseño, al no permitir el giro de la horquilla ensanchando la zona de apoyo, ya que si antes se apoyaba a lo largo de 22 mm. ahora lo hace en 80 mm., con lo que el giro se hace imposible.

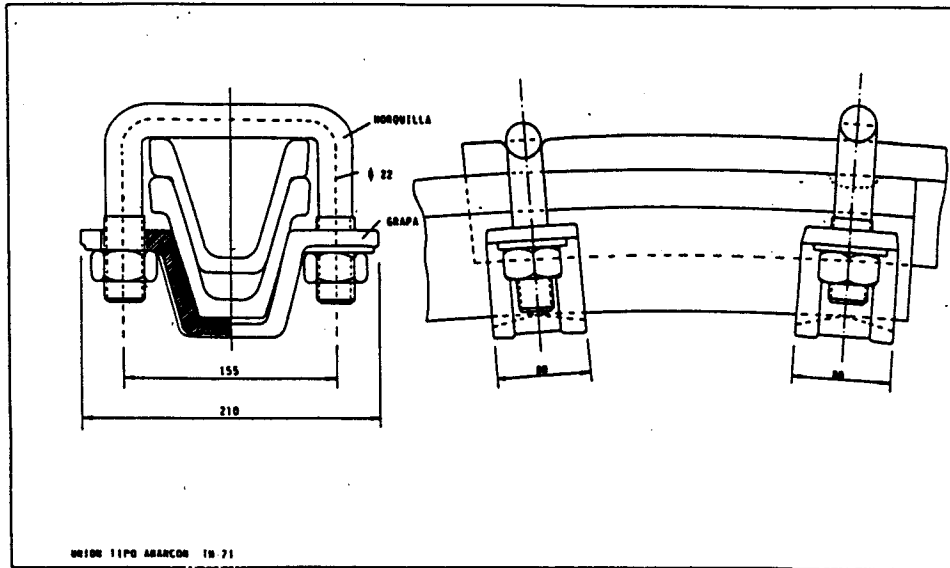


FIGURA N° 2

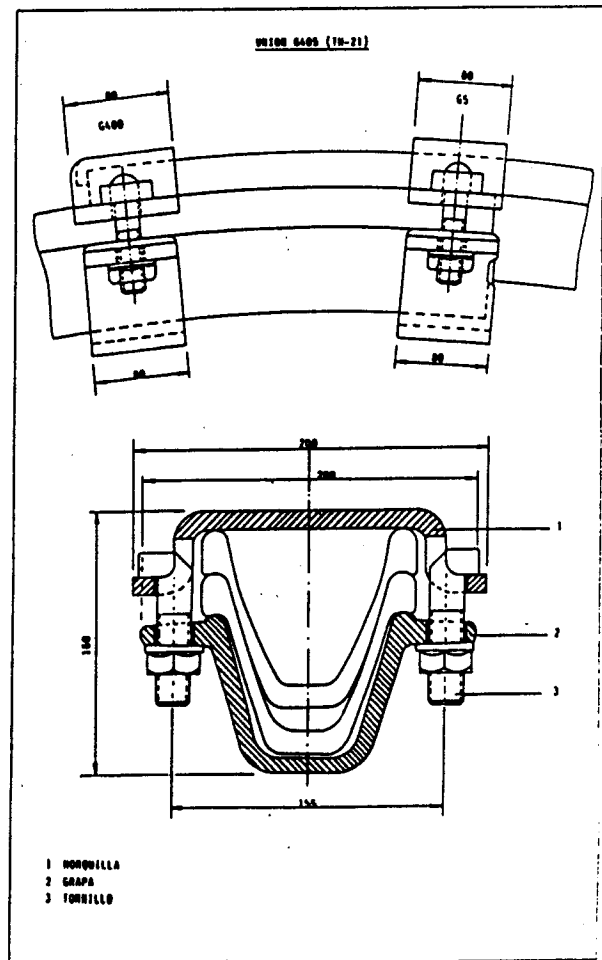


FIGURA N° 3

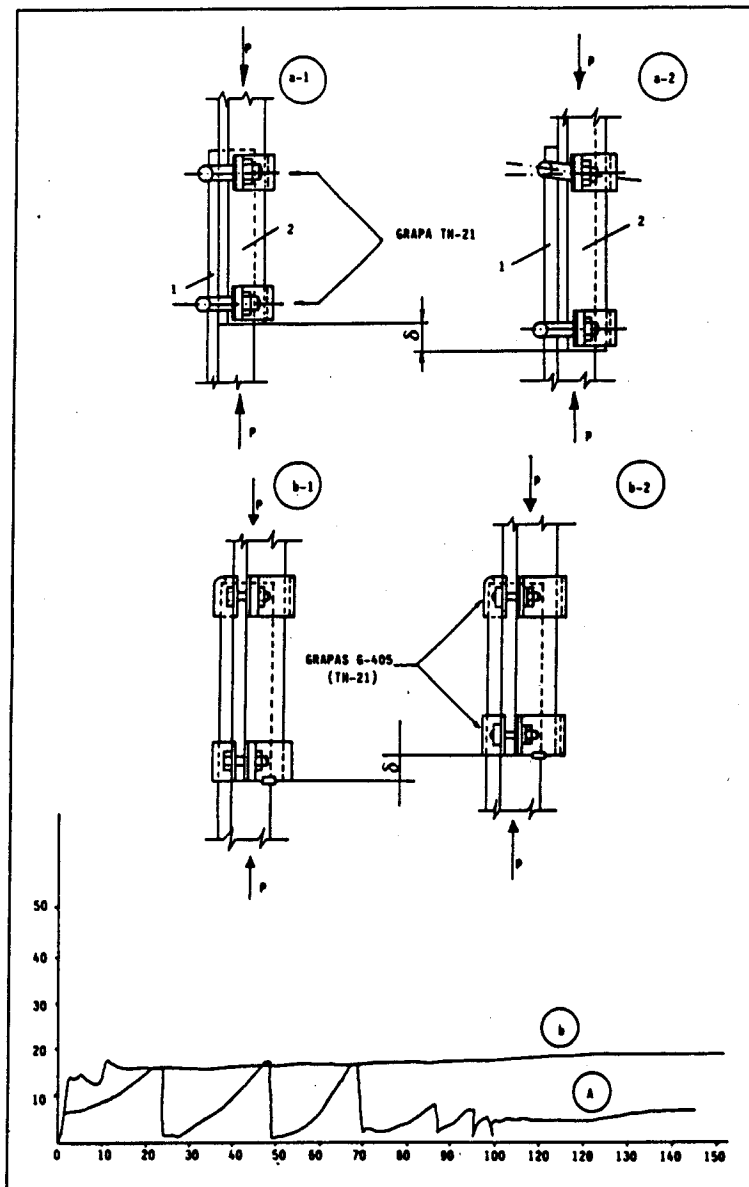


FIGURA N° 4

3.3.1.2.2. Influencia de la oxidación.

El estudio de la entibación mediante cuadros metálicos deslizantes en perfil TH presenta muchas dificultades, más de lo que se pueda pensar a priori. Una más es la que se deriva de las condiciones de trabajo del cuadro en la mina, en la que la humedad, oxidación, golpes, etc. modifican el coeficiente de fricción del acero lo cual puede traducirse en un aumento excesivo de la carga a la que se produce el deslizamiento. En estas condiciones el cuadro puede trabajar como rígido y agotarse antes de deslizarse, o transmitir esfuerzos de tracción elevados a los tornillos de unión de las grapas.

En este trabajo no se ha notado la influencia de estos factores ya que los ensayos realizados, pese a estar algún perfil oxidado, no han podido ser realizados en condiciones de oxidación tan duras como las que tienen los cuadros en algunas minas de carbón.

3.3.1.2.3. Reutilización.

La reutilización de los perfiles metálicos es muy frecuente en minería, aunque generalmente no se tiene en cuenta que con esta práctica las características resistentes del perfil pueden disminuir en una considerable proporción. En principio, y como regla general, siempre que el cuadro no haya superado su límite elástico un

perfil puede ser utilizado normalmente, con la razonable expectativa de confiar en que sus características resistentes permanezcan intactas. Generalmente, debido a esfuerzos de flexión se supera, incluso en los cuadros poco deformados, el límite elástico, y esto significa que si se reutilizan no se deberá confiar en las características resistentes iniciales.

Los límites elásticos y cargas de agotamiento de los perfiles los proporciona el fabricante, según la calidad del acero utilizado.

3.3.1.2.4. Reapriete de las grapas.

De los resultados de los ensayos se deduce claramente la utilidad de reapretar las grapas una vez que la unión de los perfiles ha sufrido los primeros desplazamientos.

En las galerías de carbón, sobre todo, después del apriete inicial cuando el tajo haya pasado unos 10-20 m. es fundamental esta operación para conseguir un deslizamiento lo más uniforme y constante posible y evitar el aflojamiento de las grapas en unos casos o su defectuoso trabajo en otros, en que al aflojarse o romperse un tornillo se produce inicialmente un acuñaamiento de los perfiles y posteriormente la rotura total de la grapa.

En el aspecto económico se puede decir que la parte de jornales correspondientes a la realización de esta operación resulta insignificante frente a las mejoras que se pueden derivar tanto en mantenimiento de los perfiles como en la estabilidad de la galería.

3.3.1.3. Aplicaciones prácticas derivadas de los ensayos de deslizamiento.

En los apartados anteriores se han recogido algunas observaciones que podrían considerarse como de directa aplicación práctica para la mejora del conocimiento del trabajo de los perfiles TH deslizantes o de su comportamiento mecánico una vez que los cuadros metálicos se ponen en obra.

A decir verdad, son pequeños detalles que deberían ser bien conocidos; pero que muchas veces se descuidan y que por ello deben ser recordados.

- * Las grapas de los cuadros metálicos deben apretarse con un aprietatuercas, dando un par de apriete similar a todos los tornillos. Este par debe estar calculado para conseguir la resistencia axial anunciada por el fabricante y no debe modificarse si no hay estudio técnico que recomiende su variación.
- * La colocación de las grapas debe realizarse cuidadosamente y en la forma y disposición recomendada por el fabricante. El solape se debe realizar con horquillas de encaje si es preciso.
- * La pieza que funcione como trabanca ha de colocarse siempre haciendo el solape de forma que ésta quede por encima del otro perfil.
- * La unión G-405 parece tener claras ventajas con respecto a la clásica utilizada hasta ahora en España si se pretende alcanzar un deslizamiento más regular.
- * En condiciones ambientales muy desfavorables de cara a la oxidación, etc. se debe vigilar con más detalle la colocación de los perfiles, ya que al aumentar el coeficiente de fricción es posible que el cuadro tienda a trabajar como rígido. Serían convenientes algunas investigaciones en este aspecto, sobre todo, con respecto a la viabilidad de un tratamiento superficial económico de los perfiles en la parte sujeta a deslizamiento.

3.3.2. Ensayos a tracción sobre los tornillos de las grapas.

La unión mediante "grapadas" consiste en la incorporación de 2 elementos que "abrazan" los perfiles y que están unidos por tornillos, que deben ser de alta resistencia. Durante la vida de servicio del cuadro metálico se transmiten esfuerzos de tracción sobre el tornillo lo que supone que debe ser conocida esta resistencia para que la unión no falle por ahí.

Se han realizado ensayos de tracción sobre tornillos que se utilizan para unir las grapas. Estos ensayos se incluyen en el proyecto realizado por el IGME y que ha sido anteriormente referido. De acuerdo con ellos, se puede decir que utilizando tornillos de alta resistencia M-18 para los perfiles TH de 16,5 y 21 Kg/m y tornillos M-24 para perfiles TH de 29 Kg/m no debería haber problemas normalmente en este sentido, si estos han pasado un adecuado control de calidad. En efecto se ha determinado la rotura a tracción para tornillos M-18 con una carga de 18 toneladas, lo cuál es suficiente.

3.3.3. Ensayos a flexión.

Los perfiles que constituyen la entibación mediante cuadros metálicos están sometidos generalmente a esfuerzos de flexión que en muchos casos provocan su agotamiento.

En apartados anteriores se han analizado los resultados de algunos ensayos de deslizamiento que sin duda han resultado ser de gran utilidad; pero la verdad es que solamente proporcionan un conocimiento parcial del comportamiento de los cuadros metálicos de 18. perfiles deslizantes. Por ello es conveniente también conocer el comportamiento de los perfiles o sus uniones cuando estos trabajan a flexión.

3.3.3.1. Ensayos a flexión sobre perfiles rectos TH.

Si se aplica una carga central sobre un tramo de perfil metálico recto apoyado sobre dos rodillos, según el esquema de la Figura N° 5 se está realizando un ensayo de flexión. La resistencia a flexión depende del tipo de perfil y su peso y pueden ser facilitados por el fabricante.

Sin embargo, dado que teóricamente por sus características geométricas, los perfiles TH pueden ser colocados en las galerías o túneles con la concavidad o convexidad hacia el eje del hueco creado, a continuación se hacen unas reflexiones sobre el resultado de un ensayo de flexión realizado en ambos sentidos.

Según los datos de que disponen los autores y que se reflejan cualitativamente en el esquema de la Figura N° 5 (c) las curvas esfuerzo-deformación son similares al principio hasta que el mismo perfil ensayado se plastifica y agota antes si se realiza el ensayo en la posición (b) que en la (a). La resistencia máxima obtenida en el ensayo tipo (a) supera en casi un 30% a la máxima capacidad resistente del ensayo tipo (b).

3.3.3.2. Ensayos a flexión sobre uniones de perfiles TH rectos.

Generalmente los cuadros metálicos colocados constan de varios tramos de perfiles TH que deslizan unos sobre otros. En condiciones de utilización normales, los esfuerzos a los que están sometidos son puntuales, asimétricos y en general, en condiciones diferentes de las teóricas. Todo esto implica la aparición de momentos y esfuerzos de flexión que se transmiten a los tornillos de las grapas que han de trabajar a tracción soportando cargas que a veces superan su límite de rotura desapareciendo la unión y agotándose por tanto el cuadro.

No obstante, de los ensayos realizados se desprende que si los tornillos son de alta resistencia y de las especificaciones contenidas en las normas correspondientes, no debería haber problema ya que se agotaría antes el perfil metálico.

3.3.3.3. Aplicaciones prácticas derivadas de los ensayos de flexión.

Las principales consecuencias que se pueden extraer de los ensayos de flexión realizados pueden ser las siguientes:

Desde el punto de vista de los resultados de ensayos a flexión de una unión de perfiles deslizantes se puede afirmar la conveniencia de trabajar con un solape de unos 40 cm. como mínimo y utilizar tornillos de alta resistencia que deben ser reapretados tras los primeros desplazamientos.

Desde el punto de vista del ensayo del perfil TH a flexión pura nos permitimos hacer algunas reflexiones que pueden servir para aclarar en parte el tema tan discutido de la óptima disposición de los perfiles en las galerías: con la convexidad (clásico) o la concavidad de la sección del perfil hacia el eje del túnel.

El problema es complicado ya que en las galerías de minas de carbón no existe una clara tipología de deformaciones; pues son muchos y muy variados los esfuerzos generados que dependen incluso de la secuencia de las explotaciones. Sin embargo, se pueden hacer algunas reflexiones para las dos tipologías de deformación más frecuentemente encontradas.

- a) Galerías sometidas a grandes esfuerzos en las que generalmente se tiene una importante reducción de la sección con cargas sobre la corona, incluso con fluencia del piso. En este caso la deformada es tal que suele tener dos charnelas plastificadas en las "hombreras" de la galería y una deformación similar a la que se produciría al realizar el ensayo tipo de la figura n° 5, lo que sugiere la colocación de los perfiles en posición tradicional. Por desgracia la situación se complica si se tiene en cuenta que en la parte baja de las "patas" del cuadro se pueden producir charnelas plastificadas (los cuadros se "arrodillan") pero con la curvatura en posición inversa a las de las "hombreras" por lo que sería más conveniente desde un punto de vista resistente la colocación del perfil en sentido inverso al clásico. En realidad habría que valorar qué tipo de deformaciones son predominantes, y generalmente son las señaladas en primer lugar.
- b) Galerías con empujes laterales, en terrenos con estratificación próxima a la vertical y tendencia a la deformación de "campanas". En este caso la deformada suele tener forma de arco gótico en corona y a "abombarse" en los paramentos. Aquí la charnela plastificada que se forma en corona es generalmente más significativa que las de los paramentos, lo que pone de manifiesto la conveniencia de colocar los perfiles en la posición tradicional.

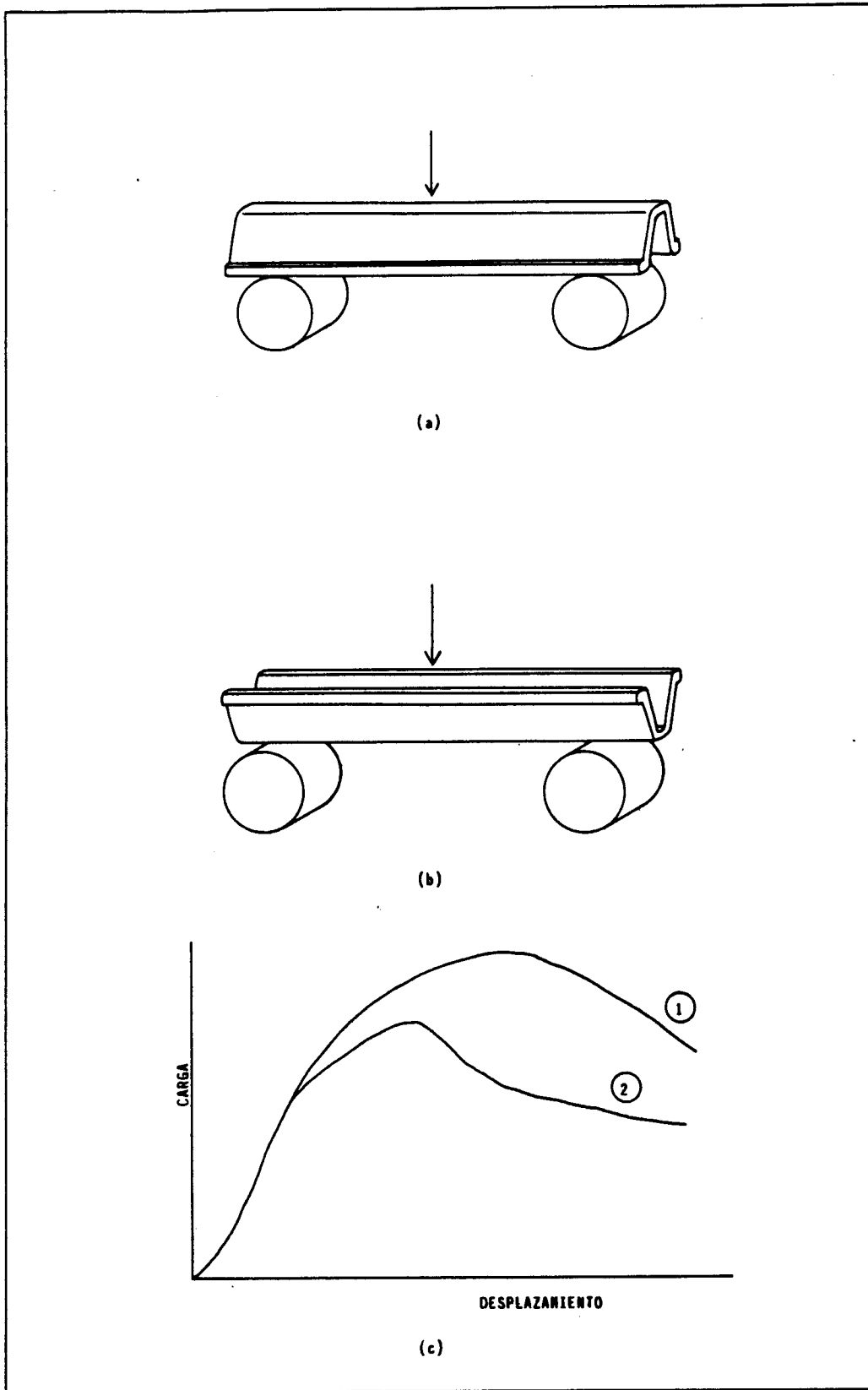


FIGURA N° 5

En resumen, en el estado actual de conocimientos y desde un punto de vista mecánico parece que la colocación de los perfiles en la posición clásica permite esperar un aumento de la capacidad resistente a flexión del cuadro según se puede ver en la Figura N° 5 c (en un 30% aproximadamente) si bien lo adecuado es tener en cuenta las deformaciones experimentadas por cuadros metálicos en situaciones similares por si fuera en algún caso recomendable invertir el doblado de los perfiles. También conviene señalar que cuando la galería se vaya a gunitar parece recomendable colocar perfiles con el doblado invertido ya que la pérdida de resistencia se vería compensada con la mejor colocación y mayor continuidad del gunitado.

3.4. Recomendaciones para el uso de cuadros TH en guías en carbón.

El presente proyecto se encuadra fundamentalmente en las galerías realizadas en capas de carbón, que generalmente sirven de guías de acompañamiento a los tajos y están sometidos a elevados esfuerzos; por ello a partir de los ensayos realizados se incluyen algunas recomendaciones sobre el uso de la entibación con cuadros metálicos en este tipo de galerías.

El comportamiento de los cuadros metálicos TH deslizantes en guías en carbón depende en gran medida de las direcciones de esfuerzos a los que estén sometidos, para lo cual hay que tener en cuenta la posición de los tajos y la estratificación. Esto se traduce en lo siguiente:

- Necesidad de elegir adecuadamente el tipo de cuadro y su geometría. Si se tiene un cuadro al que se han colocado bien las grapas, con un solape y par de apriete correcto; y este no desliza o saltan los tornillos (si son de alta resistencia) cuando está solicitado, probablemente no se adapte bien a los esfuerzos a los que está sometido, con lo que convendría analizar si se está colocando el tipo de cuadro más adecuado.
 - Recomendación de medir el giro de las patas de los cuadros metálicos del lado contrario al del tajo, ya que cuando éste pasa, generalmente las patas tienden a meterse hacia el centro de la galería. Conviene, pues, colocar las patas de los cuadros en este lado un poco abiertas para contrarrestar este efecto.
 - Del lado del tajo los esfuerzos tienen un componente importante según el eje longitudinal de la galería, lo que sugiere la necesidad de un adecuado entresillado para hacer frente a cargas que tienden a sacar cuadro fuera de su plano inicial.
- * Ante la dificultad que presenta, generalizar todos los casos posibles, se recomienda que la entibación con cuadros metálicos TH se comporte como una estructura integrada, y para ello deben unirse mediante tresillos, que nunca deben dificultar el trabajo de las grapas. Hay que destacar que para este cometido resulta ser más interesante aumentar el número de tresillos que aumentar la sección y peso de los mismos, siempre que se disponga de la mano de obra suficiente.
- * Es recomendable el reapriete de las grapas, una vez que el tajo ha pasado o cuando se hayan producido los 2-3 cm. primeros de deslizamiento, sobre todo en el caso de utilizar grapas tipo "abarcon".
- * Se debe insistir tanto como sea necesario para que los cuadros metálicos se coloquen con un correcto guarnecido y en contacto con el perfil de la galería.
- * En el caso de galerías en carbón y aquellas cuyo piso esté constituido por materiales degradables o de baja resistencia, los cuadros deben llevar un correcto embalsado o placas de reparto para que el cuadro deslice antes que hincarse en el piso. Según los resultados de los ensayos de deslizamiento con unas placas de 200 x 200 mm. puede ser suficiente.

4.- BULONES.

El bulonaje es una técnica de sostenimiento que empezó a utilizarse en la Minería hace más de treinta años. Hoy en día el bulonaje ocupa un lugar destacado dentro de las técnicas de sostenimiento tanto en Minería como en la Ingeniería Civil.

En este capítulo se analizan los resultados de una gran cantidad de ensayos realizados al amparo del proyecto del IGME denominado "Investigación para definir las características de los materiales de protección y sostenimiento de galerías en carbón desde un punto de vista geomecánico". Los ensayos han sido realizados sobre bulones anclados químicamente con resina o cemento, ya que son los más utilizados en la Minería en España. Todo ello ha permitido establecer una metodología para realizar los ensayos y se ha obtenido la información suficiente para fijar los parámetros más importantes que deben ser tenidos en cuenta a la hora de especificar las características que deben tener los elementos que componen el bulonaje. Por otra parte, se incluyen algunas recomendaciones destinadas a facilitar la aplicación de la técnica del bulonaje, aclarando algunos problemas de utilización que se han detectado en las aplicaciones de esta técnica.

4.1. Bulones de anclaje repartido.

Los bulones de expansión no pueden ser utilizados en cualquier tipo de roca debido a la dificultad de garantizar el anclaje en rocas muy fracturadas. Por otra parte la calidad del anclaje depende esencialmente de la buena calidad de las placas de base y además la carga que se consigue con los anclajes de expansión es, generalmente mucho menor que la resistencia de acero de la barra del perno.

Estas dificultades se han eliminado en gran medida con los bulones de anclaje repartido en los que el anclaje se consigue a lo largo de toda la superficie lateral del perno.

Los bulones de anclaje repartido fueron puestos a punto a mediados de la década de los 60 y desde entonces se han expandido espectacularmente debido a las siguientes ventajas que reporta su utilización:

- Posibilidad de anclaje en terrenos fracturados; pues aunque sea necesario emplear mayor cantidad de mortero, la viscosidad de éste hace difícil que se escape totalmente por las fracturas.
- Persistencia del anclaje en el tiempo, los morteros utilizados son absolutamente inertes y por lo tanto muy estables a lo largo del tiempo sin que se haya podido medir una caída de tensión en algunos de los ensayos realizados durante más de diez años.
- Disminución de la dependencia de la placa de base, que con el anclaje repartido pasa a desempeñar un papel menos importante ya que aunque desaparezca, se sigue ejerciendo un efecto de anclaje importante.
- Disminución del movimiento relativo a estratos, dado que el anclaje se realiza a lo largo del barreno se consigue una cierta solidarización de los distintos estratos del techo dificultando sus movimientos, con lo cuál se aumentan sus características resistentes.

Todo esto hace que la utilización de los bulones en minería en España se reduzca casi exclusivamente a los de anclaje repartido, lo que justifica que este estudio se centre en este tipo de anclaje constituido fundamentalmente por resinas y cementos de fraguado rápido.

4.2. NORMAS DE CONSULTA APLICABLES.

En la actualidad pueden aplicarse en España las Normas UNE 22-781-85, 22-782-85, 22-783-85, 22-784-85 y los Anteproyectos de Norma UNE 22-786-1, 22-786-2 y 22-786-3, así como todas las normas de consulta referenciadas en ellas. En el anejo N° 1 se incluyen las normas anteriormente señaladas.

4.3. ENSAYOS DE TRACCION SOBRE BULONES DE ANCLAJE REPARTIDO.

Los ensayos de tracción constituyen el mejor sistema de conocer el comportamiento del conjunto que constituye el bulón, el anclaje y el terreno. La metodología es sencilla y además con estos ensayos se pueden determinar tanto las características de adherencia del perno-mortero como las de carga soportada por el anclaje. Para ello se pueden realizar:

- a) Ensayos para determinar la adherencia del mortero, para lo cuál se debe anclar una longitud menor que 20 veces el diámetro del bulón.
- b) Ensayos para determinar la resistencia del bulón, para lo cuál como mínimo se debe anclar una longitud de bulón superior a 30 veces su diámetro.

4.3.1. Metodología de los ensayos.

La metodología seguida por los autores para la realización de los ensayos de tracción sobre los bulones es la recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas que figura en los anejos del proyecto administrativo de IGME que ha servido de base para la realización de este documento y ha sido ya referido.

Básicamente, los ensayos consistieron en la aplicación de un esfuerzo de tracción sobre la parte externa del bulón. La carga se aplicó mediante un gato hidráulico hueco con el que se ejerció una fuerza de tracción conocida en cada momento en la dirección del bulón colocado lo más perpendicular posible al terreno. Según recomendación de la S.I.M.R. la velocidad de aplicación de la carga fue del orden de 5 KN por minuto.

4.3.2. Tipos de ensayos.

Según se recogen en los anteproyectos de norma UNE 22-786-2 y UNE 22-786-3 ejerciendo sobre la parte externa del bulón un esfuerzo de tracción se pueden realizar dos tipos de ensayos:

4.3.2.1. Ensayos de resistencia.

En estos ensayos se supone que el anclaje es lo suficientemente resistente para que los posibles fallos tengan lugar por rotura del bulón o cualquier elemento metálico (roscas, placas de base, etc.) o bien por rotura del terreno o de la unión mortero-terreno. Con la calidad de los anclajes realizados con resinas o cementos comercializados en España se puede esperar que la fijación del bulón al terreno no será la causa del posible fallo siempre que se ancle convenientemente una longitud del bulón superior a 30 veces su diámetro.

4.3.2.2. Ensayos de determinación de adherencia.

Para la realización de estos ensayos se debe tener en cuenta que es conveniente (para lograr fallos de adherencia en la gama más usual de resistencia de las rocas y diámetros de bulones) anclar una longitud de perno inferior a 20 veces su diámetro.

La adherencia se puede calcular como:

$$\sigma_{ad} = 0,75 \times \frac{F_{max}}{\pi \cdot D \cdot L.}$$

Siendo:

F_{max} : esfuerzo sobre el bulón en el momento en que se detecta el fallo de adherencia.

D : diámetro del bulón

L : longitud anclada.

El coeficiente 0,75 está incluido como factor de seguridad para prever posibles fallos.

4.4. ANALISIS DE LOS ENSAYOS.

Para la realización de este trabajo se han realizado una gran cantidad de ensayos siguiendo la metodología recomendada por la S.I.M.R. Los resultados se han recogido según figura en el ejemplo de la tabla N° 2 y se han representado según modelo de la Figura N° 6.

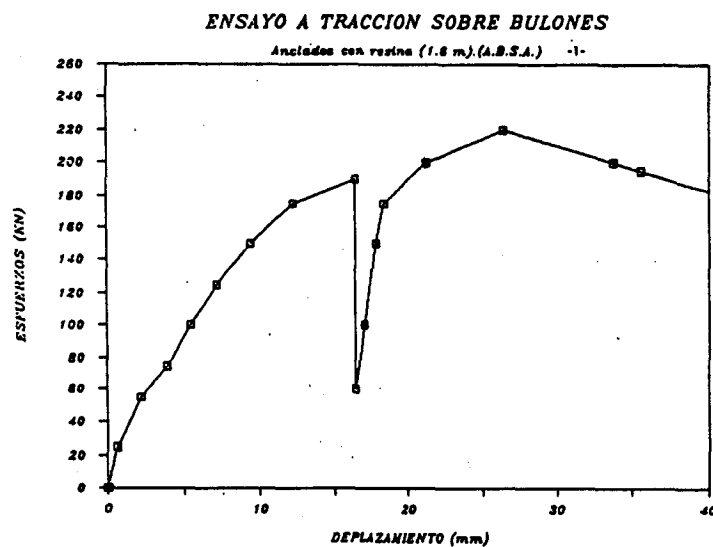


FIGURA N° 6

PROYECTO:		PRUEBA N°: 16			
LOCALIZACION DEL ENSAYO: ANTRACITAS DE BRAÑUELAS, S.A. (1)					
TALADRO: Ø (mm):34..... L (mm):1.600..... BULÓN: Ø (mm):25..... L (mm):1.600..... Tipo de acero:CORRUGADO..... ANCLAJES: Tipos:RESINA..... Nº Cargas:2,5. Ø (mm):25. T. Fragmentos: ROSCA: Litología:ARENISCA..... Calidad (mm):55..... σ_c (MPa):70..... Fracturación:ESCASA..... Agua: Otras Características:					
PRESION EN LA BOMBA (kg/cm ²)	ESFUERZO SOBRE BULÓN (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)			OBSERVACIONES
		1	0	$\frac{1+0}{2}$	
0	0	0	0	0	
2,3	0,5	0,5	1,5	1	
5,8	2	2	4	3	
10	7	7	4	5,5	
12	8	8	6	7	
15	14	14	6	10	
18,5	15	15	17	16	
6	18	18	14	16	
10	17	17	16	16,5	
15	14	14	20	17	
17,7	15	15	20	17,5	
19,5	19	19	23	21	
22	25	25	27	26	
20	30	30	38	34	
19,5	33	33	39	35,5	
RESULTADOS: Fuerza máxima ejercida (t): 22 Desplazamiento a máxima fuerza (mm): 26 Máximo desplazamiento en la prueba (mm): 35,5 Fuerza residual (t): 18,5 Naturaleza del fallo: FALLA LA TUERCA Otras observaciones:					

TABLA N° 2

Las consecuencias más interesantes obtenidas a partir de dichos ensayos se analizan a continuación.

4.4.1. Influencia del diámetro del bulón.

Como era de esperar, en los ensayos se ha podido determinar que el diámetro tiene una doble influencia en el comportamiento del bulón cuando se ensaya a tracción.

- Sobre la adherencia, en el sentido que un bulón de diámetro mayor que otro presente una mayor superficie de adherencia para una misma longitud y condiciones de colocación. Esta relación es lineal y dadas las buenas características de adherencia que presentan en la actualidad resinas y cementos, este parámetro no ha de ser normalmente decisivo a la hora de dimensionar el diámetro del bulón; dimensionamiento que se ha de realizar desde un punto de vista resistente.
- Sobre la resistencia. En este aspecto el cuello de botella suele ser, a la vista de los ensayos, la rosca. En la mayoría de los ensayos realizados el agotamiento de los bulones, se ha producido por fallos en la rosca. Esto se ha de traducir en la rigurosa elección de la calidad del acero y mecanización de la rosca que se debe exigir a los bulones cuando estos vayan a tener que soportar cargas sobre las placas de base.

4.4.2. Elección de la relación diámetro barreno/diámetro bulón.

Este es un aspecto muy importante desde un punto de vista práctico ya que una mala elección de esta relación trae unas consecuencias muy negativas para la práctica del bulonaje.

En efecto, un diámetro del barreno muy pequeño o ajustado puede producir grandes dificultades a la hora de introducir el bulón en el barreno, lo que entorpece la operación (la rapidez y sencillez son unas de las grandes ventajas operativas del bulonaje) e incluso dificultar la colocación de las placas de base de modo que estén en contacto con el terreno como exige la buena práctica del sistema. Por el contrario, un diámetro del barreno excesivo se traducirá además de en un consumo elevado de resina o cemento (sin ganancia sustancial de capacidad de anclaje) en una falta de garantía de que el anclaje se realice adecuada y completamente.

En la tabla adjunta se señalan los diámetros de perforación y de los cartuchos más recomendados para los distintos diámetros de bulones. Este cuadro ha sido elaborado a partir de los 33. ensayos, la experiencia de los autores de este trabajo y de las recomendaciones de los fabricantes.

Relación aconsejable entre el diámetro del bulón, cápsula y taladro.

Ø bulón (mm.)	Ø cápsula (mm.)	Ø taladro									
		22	25	28	30	32	35	38	40	44	51
16	20										
	22		X	X							
	25			X							
20	22			X							
	25			X	X						
	28				X	X					
	31										
25	25				X	X					
	28					X					
	31						X				
	35										
32	28										
	31						X	X	X		
	35							X	X	X	
	42										
40	28										
	31										
	35										X
	45										X

TABLA Nº 3

4.4.3. Volumen del mortero.

Como regla general, la cantidad de resina o cemento que debe ser empleada para tener expectativas razonables de conseguir un correcto anclaje es sencillamente la necesaria para que el espacio anular comprendido entre el bulón y terreno esté completamente ocupado por el mortero. Para prever posibles pérdidas o fugas por grietas o juntas abiertas conviene sobredimensionar esta cantidad en un 15%. En la práctica se debe tener en cuenta que tanto la resina o cemento deben salir al exterior por la boca del taladro.

Si φ_t y φ_b son los diámetros del taladro y bulón respectivamente, la cantidad de cargas de resina o cemento necesarias será:

$$\text{nº de cargas} = 1,15 \times \frac{(\varphi_t^2 - \varphi_b^2)}{\varphi_c^2} \times \frac{L}{l}$$

Siendo φ y l el diámetro y longitud del cartucho respectivamente, y L la longitud del bulón.

4.4.4. Evolución de la adherencia con el tiempo.

Los ensayos se han realizado, según figura en el pliego de condiciones, sobre bulones anclados con resina o cemento dado que son los morteros que más se utilizan en la minería y obra civil en España. Las características de adherencia están claramente especificadas por los fabricantes, y a la luz de los resultados de los ensayos de

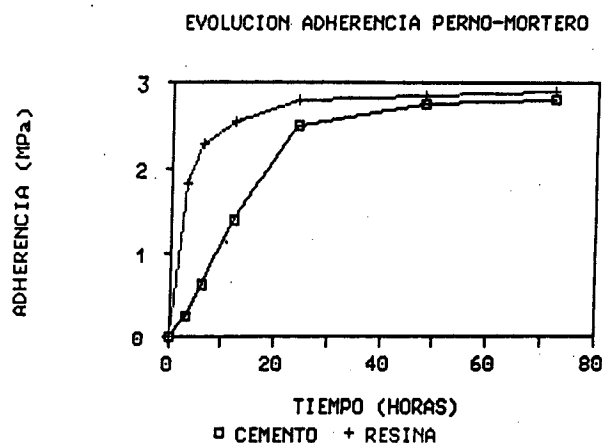


FIGURA N° 7

EVOLUCION DE LA ADHERENCIA PERNO-MORTERO EN EL TIEMPO
PARA EL CEMENTO Y LA RESINA.

comprobación realizados por los autores de este proyecto, se puede decir que estas características son suficientes. Con respecto a la evolución en el tiempo, en la Figura n° 7 se recoge la adherencia medida sobre morteros de cemento y resina comunmente utilizados en España.

4.4.5. Placas de base, tuercas y otros elementos del anclaje.

De algunos de los ensayos que se han realizado en condiciones de campo se desprende que aunque los bulones estén aceptablemente colocados, en algunos casos la calidad de las tuercas, placas de base, etc. está por debajo de lo que las Normas aplicables señalan. Esto se traduce en un agotamiento de la capacidad del bulón antes de lo que sería deseable. Por ello la utilización de placas de base fabricadas a partir de llantas, recortes de chapa, etc. debería ser desechada salvo en casos muy especiales.

4.5. RECOMENDACIONES PRACTICAS PARA REALIZAR ENSAYOS DE TRACCION

Es de buena práctica minera, cuando se utiliza sistemáticamente cualquier sistema de sostenimiento, la realización de un adecuado control de los elementos que lo componen. En el caso del bulonaje lo más adecuado es realizar ensayos de tracción sobre un determinado número de bulones para comprobar la capacidad de anclaje, adherencia y carga máxima admitida.

Para la realización de estos ensayos se puede aplicar la metodología sugerida por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas. No obstante, con un equipo sencillo compuesto por un gato hidráulico, bomba de mano y un manómetro se pueden realizar los ensayos de tracción para determinar adherencias y capacidad de anclaje. Para ello se hacen a continuación algunas recomendaciones prácticas:

- * La fuerza de tracción se debe ejercer lo más paralelamente posible a la dirección del bulón que, a su vez, ha de estar colocado lo más perpendicularmente posible al terreno o la superficie sobre la que se haya anclado.
- * La superficie sobre la que se ejerce la reacción del gato hidráulico debe estar lo más sana posible y si es necesario se debe colocar una placa de reparto.
- * En el caso de querer medir desplazamientos se debe aplicar un esfuerzo de no más de 3 toneladas y reajustar el equipo para comenzar el ensayo. Las deformaciones iniciales generalmente son debidas al reajuste del terreno y placas y deben desecharse.
- * En realidad, a la vista de los resultados de los ensayos, utilizando una metodología de colocación adecuada es muy difícil que falle el anclaje por culpa de las resinas o cementos utilizados para la fijación. Normalmente es difícil reconocer a qué son debidos los desplazamientos, que se producen durante el ensayo, que pueden ser debidos a cualquiera de las siguientes causas:
 - Deformación elástica del extremo del bulón no anclado.
 - Deformación parcial de la parte anclada (se estima que es la correspondiente a 1/3 de dicha longitud).
 - Deformación del terreno.
 - Deformación del anclaje.

Sin embargo se puede considerar, a efectos prácticos, que se produce un fallo de adherencia cuando se registran desplazamientos continuos con un decrecimiento poco brusco de la carga, que incluso a veces puede quedar estabilizada.

Por el contrario, cuando se producen fallos en el bulón o en el terreno, el descenso de la presión es más brusco y difícil de mantener a niveles superiores a "0".

4.6. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PRACTICA DEL BULONAJE OBTENIDAS A PARTIR DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.

A partir de los trabajos que se han llevado a cabo para realizar este estudio y de la revisión del estado del bulonaje en la minería del carbón en España, se pueden destacar los aspectos siguientes:

CAPACIDAD DE RESISTENCIA

De los bulones anclados con la resina o cementos habitualmente utilizados en España se puede esperar una capacidad resistente del anclaje de unas 10 toneladas por metro para la gama más habitual de diámetros utilizada en Minería. Sin embargo generalmente se agota antes la capacidad resistente de la rosca o placas de base, etc. En los ensayos realizados, estos elementos, han fallado cuando se sometían a esfuerzos de tracción de 15 a 20 toneladas, aumentando claramente su capacidad cuando se utilizaban dos tuercas unidas. En este caso se incrementaba en casi 5 toneladas el esfuerzo necesario para el fallo.

TIPO DE PERFIL EXTERIOR DE LOS BULONES.

Se ha demostrado claramente la influencia del tipo de perfil exterior del bulón sobre las características de los bulones de anclaje repartido. Los bulones de acero corrugado presentan una capacidad de anclaje más de dos veces superior que los lisos en la mayor parte de los casos.

PLACAS DE ANCLAJE.

En el caso de bulones de anclaje repartido, las placas sirven fundamentalmente para evitar el desprendimiento superficial de los terrenos o del revestimiento y para fijar éste al terreno si es preciso. Pues bien, tanto las formas como las dimensiones y calidades deben ser diseñadas de acuerdo a sus diferentes aplicaciones.

Por ejemplo se han podido ver que las placas planas tienen tendencia a deformarse y a abombarse lo que puede generar una tensión excesiva sobre el bulón; por ello desde este punto de vista son más convenientes las placas semiesféricas.

Lo ideal sería que las placas se deformasen para solicitaciones próximas al límite elástico de los bulones, ya que su deformabilidad se añadiría a la del bulón aumentando su adaptabilidad a las deformaciones de los terrenos.

ELECCION DEL BULON

El diseño del bulonaje (espaciado, longitud, diámetro, etc.) se sale del alcance de este estudio, no obstante conviene recordar, y esto se ha contrastado en la práctica, que el conocimiento de la forma de trabajo de los bulones es fundamental a la hora de elegir el tipo de bulón a utilizar.

Por ejemplo, cuando el bulón va a ser solicitado estáticamente, es decir, va a trabajar fundamentalmente sujetando bloques de roca desconsolidados, lo más importante es la resistencia del bulón. Esta resistencia es función de la resistencia a la tracción del acero y del diámetro del bulón, ya que generalmente el anclaje no debe fallar por falta de adherencia.

Por el contrario, si el bulón va a ser solicitado dinámicamente y debe enfrentarse a grandes deformaciones es más conveniente elegir un acero dúctil mejor que resistente que permita aumentar la capacidad de alargamiento de los bulones.

DIAMETRO DEL CARTUCHO DE RESINA O CEMENTO.

Sobre la metodología de utilización de los elementos de anclaje poco se puede decir por ser una técnica sencilla, que los técnicos conocen y que los fabricantes generalmente difunden. Sólo conviene insistir en respetar un adecuado batido de la resina o hidratación de los cementos. Sin embargo conviene apuntar que se ha demostrado en ensayos realizados en terrenos, tanto de buena calidad como de mala, que el óptimo diámetro del cartucho del mortero de anclaje puede, en principio variarse para una mejor ejecución del anclaje.

Para barrenos efectuados en terrenos de buena calidad conviene elegir el diámetro del cartucho del orden de 2 mm. inferior al del barreno. En caso de terrenos de mala calidad, esta diferencia puede aumentarse hasta 4 mm. pero con la precaución de una correcta dosificación (sobredimensionada al menos en un 15%) y de evitar la sobreperforación (el diámetro del barreno no debería superar en 7 mm. al del bulón).

5.- LA MADERA COMO ELEMENTO DE PROTECCION EN GALERIAS DE MINA.

La madera ha sido el material más utilizado desde los comienzos de la minería, por las ventajas que supone su fácil adaptación a formas y dimensiones de vanos, por su transporte, su facilidad de monta y sustitución, el poco espacio que ocupa en su almacenaje, su "preaviso" antes de que se produzcan roturas importantes, aunque, ésta última característica no todas las maderas disponen de ella, etc.

En cuanto a las formas en la mina son utilizados, maderos redondos, rollizos, puntalas, apeas, traviesas, tresillones, bastidores, etc., no siendo impuesta ninguna condición estricta de antemano, por el personal encargado de cada empresa minera, a la hora de efectuar el pedido correspondiente; o a lo sumo, lo que se impone son unas medidas mínimas, y el no tener una curvatura excesiva, no existiendo por tanto ningún tipo de restricciones sobre el uso de algunas especies inadecuadas, ni control de calidad, en el momento de recepcionar el pedido o de introducir en el pozo.

El presente resúmen está circunscrito al estudio de comportamientos de portadas sencillas y llaves como elemento de protección y de sostenimientos de galerías de acompañamiento de talleres en capas echadas de carbón: no entrando por tanto, en este enfoque, temas como la facilidad de obtención de la madera, en las cantidades precisas y a precios razonables. Las condiciones de inflamabilidad o combustibilidad de cada tipo, o la escasa resistencia que ofrecen algunas variedades a la putrefacción en atmósferas pobres de oxígeno. Para estos objetivos se incluye una detallada bibliografía al final de este Manual.

De otro lado, se justifica la necesidad de utilizar elementos más rígidos que la madera tradicional: (anhidritas, elementos prefabricados, etc.) pues conllevan una capacidad de absorción de esfuerzos con una deformación mínima, y por ello la inducción de tensiones sobre el techo de la galería es muy pequeña.

5.1. PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LA MADERA.

La madera es un material anisótropo, en donde la variedad de su anatomía es muy grande. No solamente cada especie tiene su propia constitución sino que también las distintas partes de un árbol y especialmente la corteza, presentan anatomías diferentes, aún dentro de la misma especie; las diferencias en bastantes casos, son incluso mayores que las que pudieran existir entre árboles de distintas familias.

Si observamos macroscópicamente un corte transversal de un tronco arbóreo, se pueden presentar dos zonas (Figura N° 8):

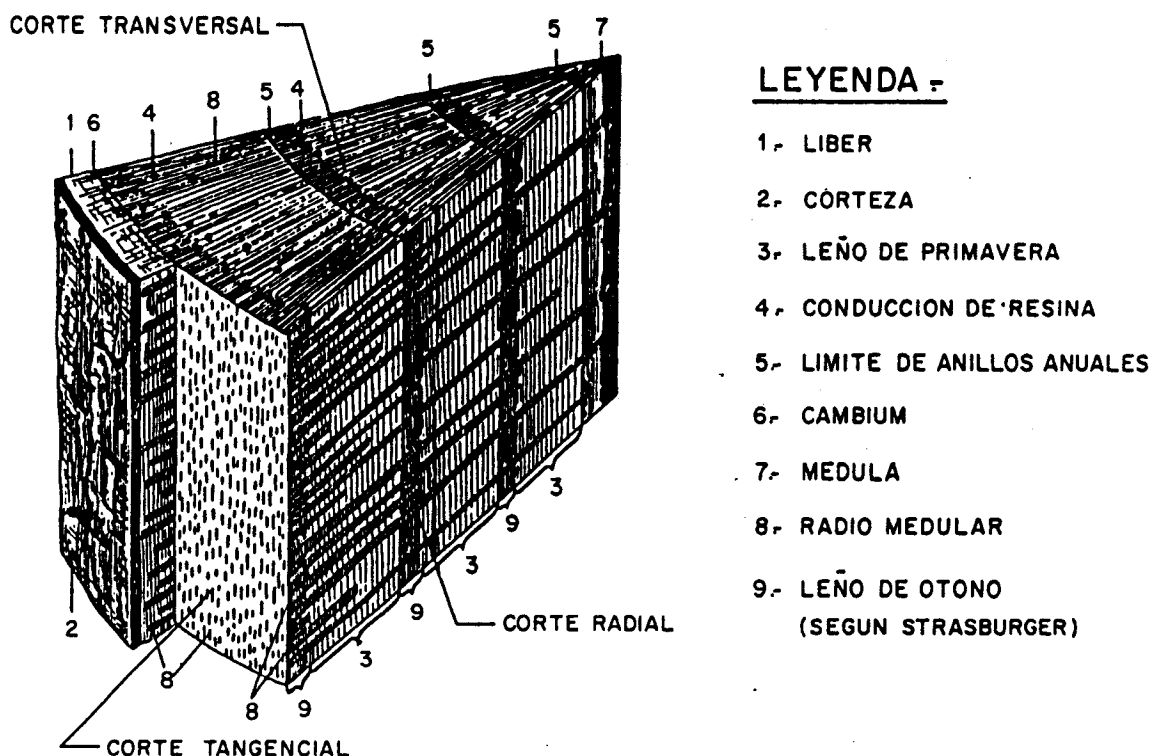
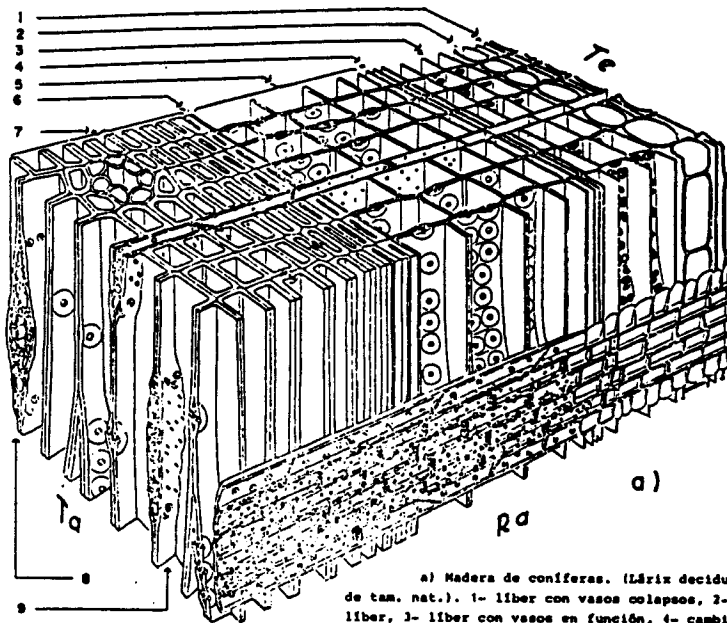


FIGURA N° 8 TROZO DE UN TRONCO DE PINO CON CUATRO AÑOS DE EDAD

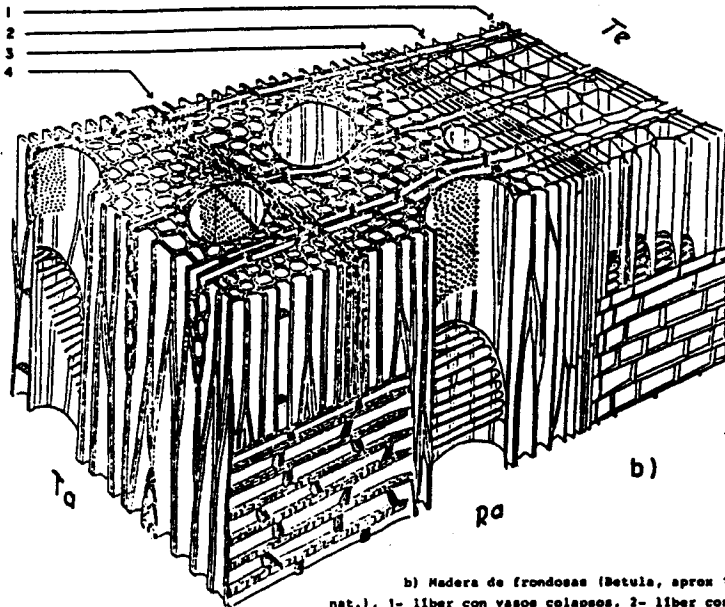
- una más periférica, estrecha, tierna, porosa, cargada de agua y poco consistente, que se la conoce con el nombre de albura, sásmago o falsa madera.
- y otra más interior, denominada duramen o corazón, en la que se alcanzan la resistencia y compacidad máximas.

La madera joven es la albura, y conforme va pasando el tiempo se va transformando en duramen, el cual es más oscuro en casi todas las especies.

Normalmente, a simple vista es posible distinguir la anatomía que se muestra en la Figura N° 8 y con ayuda del microscopio los detalles que se muestran de madera de coníferas y frondosas de la Figura N° 9. La albura es la zona del tronco más propensa a los ataques exteriores y putrefacciones, estando el incremento de su anchura en detrimento de la calidad de la madera.



a) Madera de coníferas. (*Lárix decidua*), aprox. 180/1 de tam. nat.). 1- liber con vasos colapsos, 2- parénquima de liber, 3- liber con vasos en función, 4- cambium, 5- madera de primavera, 6- límite de anillos anuales, 7- madera de otoño (con un conducto de resina), 8- radio medular (con un conducto de resina), 9- radio medular, Ta- corte tangencial, Te- transversal, Ra- radial, (según MARGDEPRAU).



b) Madera de frondosas (*Betula*, aprox. 180/1 de tam. nat.). 1- liber con vasos colapsos, 2- liber con vasos en función, 3- cambium, 4- límite de anillos anuales. En los cortes tangenciales y radiales se ve la interrupción de los vasos traqueidales por escaleras, (según MARGDEPRAU).

FIGURA N°9

El aumento de diámetro del duramen con los años, lleva consigo una reducción de la vitalidad de los anillos interiores centrales que se enrojecen, lo cuál es indicativo de un estado de madurez o vejez del árbol, con la consiguiente pérdida de cualidades. La velocidad de crecimiento de un árbol, por tanto, va en contra también de la calidad.

La irregularidad en la anchura de los anillos anuales de crecimiento, puede proporcionarnos una interesante información sobre la vida del árbol y las propiedades de su madera. El árbol cuando es joven, en sus secciones transversales, se observan anillos de espesor pequeño, que aumentan de radio con la edad, y disminuyen de potencia a su vez con los años. Sobre la inconstancia en la anchura de los anillos, tienen también influencia las variaciones de las condiciones externas, especialmente las de tipo climático a las que está expuesto el árbol por su emplazamiento. Así, si el árbol crece en una ladera, con vientos constantes y dominantes en una dirección, y luz intensa de un solo lado, se han observado la producción de anillos descentrados respecto al eje geométrico del rollizo, con desplazamiento de la médula, efecto que se suma al de la orientación (hacia la zona de menor intensidad lumínica el grueso de los anillos es siempre mayor), con lo que las coronas de crecimiento no tienen formas circulares sino configuraciones ovaladas, ello es un síntoma de madera heterogénea, no solo en su constitución, sino en un futuro comportamiento estructural.

En casos, como el citado anteriormente, el árbol crece con forma curva y los haces fibrosos se ondulan, helicoidalmente, originando maderas de fibras discontinuas. En general, para una misma especie, los anillos son más anchos si el árbol crece aislado o en espesura, y por ello cada vez que se hace una tala en un bosque las anchuras de las coronas aumentan.

Dentro de la especie de las Coníferas, existe una propiedad interesante, como es la que presentan algunas variedades resinosas, el pino silvestre entre ellas, en donde la madera mejora tanto en cuanto son más estrechos los círculos anuales, sin embargo ocurre lo contrario, con carácter general en las especies no resinosas con excepción de la encina y el roble desarrollados en lugares secos.

Al iniciarse un anillo de crecimiento, la madera de primavera está constituida por abundantes vasos y escasez de fibras, existiendo una gran circulación de savia. Al final del período vegetativo la situación se invierte, escaseando los vasos y aumentando la fibra, es la denominada "madera de otoño". La primera, a simple vista es más clara que la segunda, y la relación entre el ancho, "a", de la zona de otoño y la "A", suma de la zona de primavera más la zona de otoño (Figura N° 10) nos da un índice de la calidad de la madera, este parámetro se conoce con el nombre de TEXTURA, y es tanto mejor la calidad de la madera cuanto mayor sea la textura. Este parámetro puede ser útil incluso para un mismo tipo de madera al poderse contrastar valores de diferentes unidades.

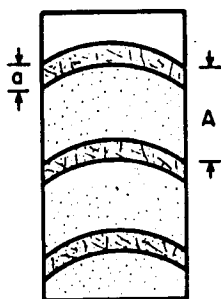


FIGURA N° 10

— Así por ejemplo, de la observación de una sección transversal de un pino silvestre, tendríamos:

ANCHO DE ANILLO: "A"	ANCHO DE MADERA DE OTOÑO: "a"	RELACION a/A - TEXTURA -	INDICE DE CALIDAD
9	5	0,55	0,97
7	3	0,428	0,76
5	2,1	0,420	0,74
5,5	2,5	0,45	0,80
8	4,5	0,562	1
6	2	0,333	0,59

5.1.1. Composición elemental de la madera.

Por los resultados obtenidos de análisis elementales no se ha podido deducir que la composición química de toda madera sea uniforme, y, ni tan siquiera dentro de una misma especie hay homogeneidad. En la especificación de los distintos elementos químicos constituyentes de la madera, se presentan grandes dificultades, al encontrarse estos en un estado coloidal, con variación de la composición química en cada célula, precisamente por la diversidad de anatomías que se presentan.

Una composición elemental de la madera, bastante parecida en todas la especies es la datada por Kraemer: 50% C; 6,1% H; 13% D; 0,1-0,2% N y 0,2-0,7% de residuos incombustibles.

Como componentes químicos fundamentales de la madera se distinguen los siguientes: la celulosa en un porcentaje del 40-50%, la lignina en un 24-28%, y las hemicelulosas o polisacáridos con un 20-25%; y como componentes accesorios, en proporciones muy variables: las resinas, las grasas, las ceras, las sustancias tánicas, los colorantes, los alcaloides, y las sustancias incombustibles.

5.1.2. Características físicas más importantes desde el punto de vista minero.

Desde el punto de vista físico y mecánico, se consideran tres direcciones principales, según un triedro característico de referencia (Figura N° 11).

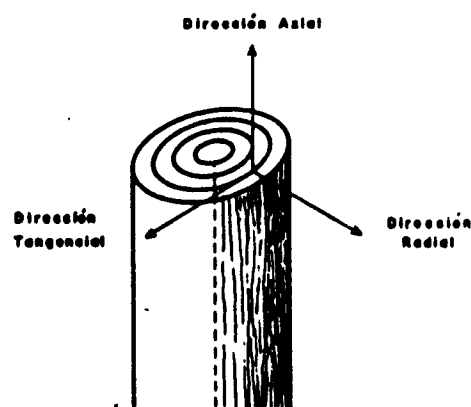


FIGURA 11 TRIEDRO DE REFERENCIA DE DIRECCIONES PRINCIPALES

- La dirección axial, paralela al eje del árbol.
- La dirección radial, perpendicular a la primera y así mismo perpendicular los anillos de la sección, etc.
- La dirección tangencial, contenida en la sección recta, tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a la dirección radial.

La madera estructuralmente constituida por haces longitudinales de fibra leñosa o células y espacios huecos, contiene además agua que ocupa dichos espacios e impregna las paredes de las células. La presencia de este agua en cantidades variables, según el estado de humedad de cada madera repercute directamente sobre las variables de volumen y densidad, de tal modo, que los tres parámetros son subordinados uno del otro para un estado físico dado y en correspondencia directa con las variables que gobiernan el medio ambiente.

De entre las propiedades físicas que caracterizan a las maderas: el color, el brillo, el olor, la humedad, la densidad y peso específico, la contracción, la dilatación, la conductibilidad, la dureza, ... las más importantes desde el punto de vista minero por ser condicionantes de sus aptitudes mecánicas son: La humedad, la densidad y el peso específico.

Pero no por ello, se deben menospreciar otras observaciones relativas a la estructura de la madera, como el color que es indicio de duración y densidad cuando es intenso, o el olor agradable, sintomático de una madera sana, mientras que cuando es fétido, es consecuencia de un proceso de degradación, alteración o enfermedad.

5.1.2.1. Humedad.

El agua que contiene una madera húmeda se encuentra en ella bajo tres formas:

- 1.— “Agua capilar o libre”: la cuál llena el interior de las fibras, vasos y espacios que pueden existir entre las fibras.
- 2.— “Agua de impregnación”: contenida en las paredes de las fibras saturándolas.
- 3.— “Agua de composición”: que forma parte de los tejidos de constitución y de las células.

Se llama grado de humedad o humedad de la madera a la cantidad de agua que contiene, expresada en tanto por ciento de su peso en estado anhidro. Esta humedad, que designaremos por H, viene dada por la expresión:

$$H (\%) = \frac{P_h - P_o}{P_o} \times 100$$

siendo:

P_h : el peso de la probeta en estado húmedo.

P_o : el peso de la probeta en estado anhidro.

No vamos a describir el modo operatorio del ensayo que se encuentra normalizado según UNE 56-529-77, pero si consideramos la influencia de este parámetro en otras variables físicas y mecánicas.

La madera de un árbol recién cortado, como pueden ser las apeas de mina contiene cantidades importantes de agua, con lo que su humedad resulta muy elevada. Sin embargo, expuesta al aire normal pierde parte de su contenido y llega a estabilizarse a una determinada humedad que depende de las condiciones del aire: temperatura y estado higrométrico. Si éstas condiciones a su vez varían, también variará la humedad (Figura N° 12).

La humedad de la madera condiciona cualidades y propiedades físicas y mecánicas como son los signos de aviso a la rotura, al oído y a la vista, el volumen, la densidad, la dureza, las resistencias mecánicas, etc. Es, por tanto, muy importante para poder comparar las maderas entre sí, medir sus características a una humedad determinada, denominada *Humedad Normal*. Esta humedad es del 12 por 100, según la norma española, coincidente con la C.I. de Ginebra.

Cuando una madera se seca, el agua que primero se evapora es la que está en su estado capilar o libre, y ello sucede sin una aparente modificación de las propiedades de la madera desaparecida este agua, queda la de impregnación de tejido leñoso. Si la evaporación continúa, empieza a disminuir el agua que impregna las paredes de las fibras con lo que se modifican las propiedades físico-mecánicas; los tejidos leñosos de la madera disminuyen de volumen y al mismo tiempo su dureza y resistencia mecánica aumentan.

La máxima humedad que puede contener una madera sin que exista agua libre es conocida como *Punto de Saturación de las fibras*, su conocimiento reviste una especial importancia.

Las maderas con punto de saturación bajo (18 al 20 por 100) tienen estabilizadas sus características mecánicas cuando son utilizadas en atmósferas húmedas, o si, mediante tratamientos de impregnación se las

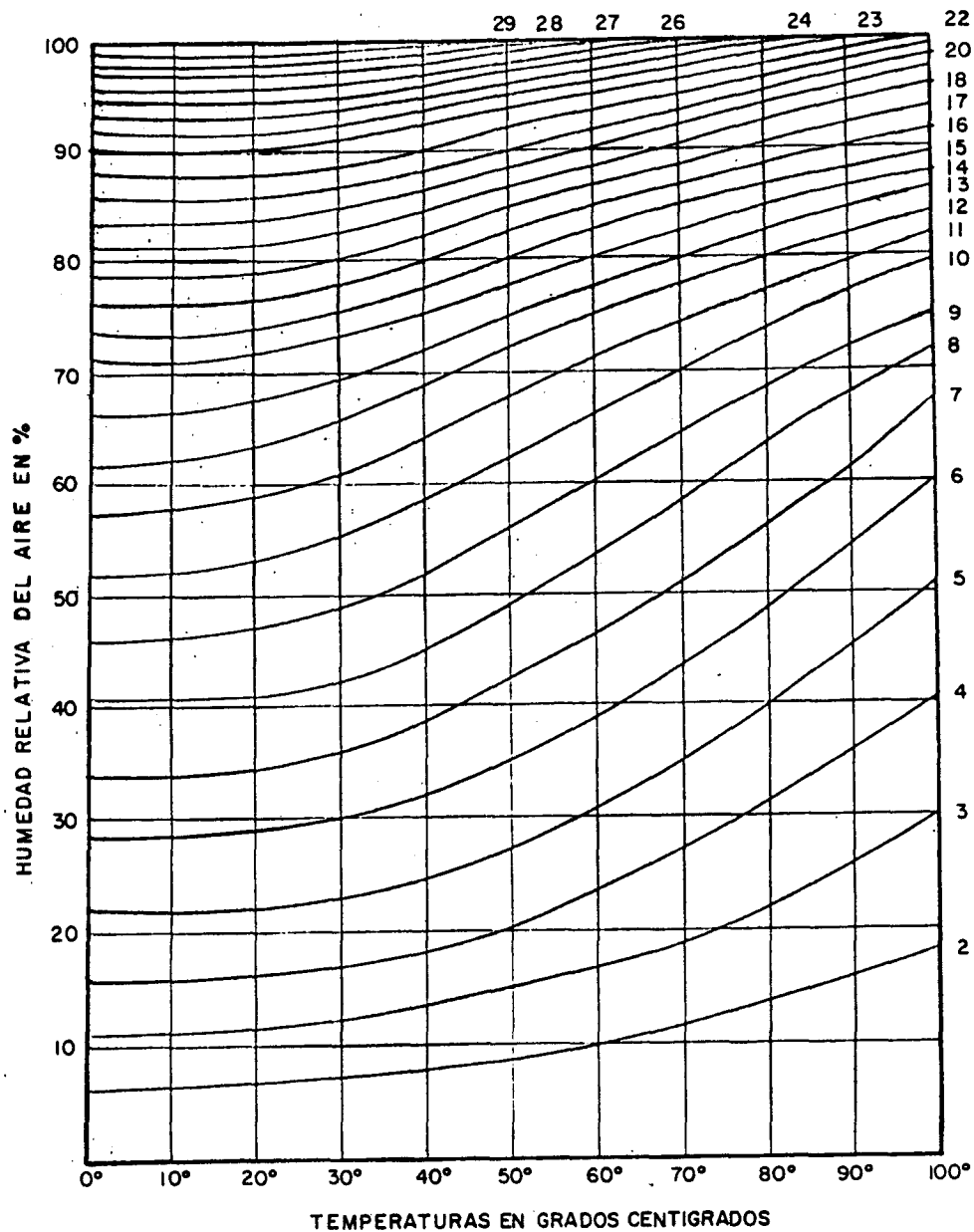


FIGURA n° 12

Las curvas señalan el porcentaje de humedad que debe tener la madera en equilibrio higroscópico con el aire, en función de la temperatura y del estado higrométrico de éste.

mantiene con humedad media igual o superior a los citados valores. Por el contrario, si dichas maderas son empleadas en atmósferas de humedad más baja al 12 por 100, se deformarán cuando varíe dicho porcentaje.

Las maderas que dispongan de un punto de saturación elevado, en general serán utilizadas en un medio con un contenido en humedad muy inferior al que corresponda al punto de saturación de sus fibras, y estarán sujetas a movimientos, ocasionados por las variaciones de su contenido en agua.

Los resultados de los ensayos de humedad se interpretan conforme el Cuadro N° 1.

HUMEDAD EN %	ESTADO DE LA MADERA
> 70	Madera empapada
30-70	Madera verde
30	Madera saturada
23-30	Madera semi-seca
18-22	Madera comercialmente seca
13-17	Madera seca al aire
< 13	Madera muy seca
0	Madera anhidra

CUADRO 1 ESTADO DE LA MADERA SEGUN SU % DE HUMEDAD

5.1.2.2. Peso específico y densidad.

El peso específico de una madera viene dado por la relación entre su peso y su volúmen, medidos en las mismas condiciones de humedad.

En un dato que tiene gran interés desde el punto de vista minero, ya que en el interior de la mina, y en especial aquella madera que ha de emplearse en las explotaciones, interesa que sea fácilmente manejable por el personal y, claro está, que una madera pesada se maneja y transporta peor que una ligera.

En función del grado de humedad, se suelen distinguir:

- La densidad normal o densidad al 12 por 100.
- La densidad anhidra o densidad al 0 por 100.
- La densidad con grado de humedad cualquiera.

Constituye por tanto la densidad de la madera uno de los parámetros más importantes para su clasificación técnica, existiendo una clara relación entre ella y su resistencia mecánica.

Ahora bien; hay que distinguir entre la densidad absoluta y la aparente o húmeda; La primera es el peso específico del parénquima leñoso, más pesado que el agua y es sensiblemente constante en todas las especies de madera, por serlo el peso sin huecos de la celulosa y sus derivados constituyentes de la materia leñosa; este valor que varía entorno a 1,5, no tiene ningún interés desde la óptica minera.

Así pues, nos interesa solamente considerar la densidad húmeda de la madera, la cual no es constante entre las distintas especies, sino que en una misma especie depende de varios factores, de los que el más importante es la humedad; son factores también influyentes: el lugar de crecimiento, el desarrollo del árbol, la situación en el tronco, etc.

Prácticamente, la determinación de la densidad aparente de la madera se encuentra tipificada según la norma UNE 56-531-77.

En el Cuadro nº 2, se indican unos valores de la densidad húmeda de las maderas con un 15 a 20 por 100 de humedad, que consideramos de más interés en Minería:

Determinada una densidad D'_H correspondiente a un grado de humedad H (%), es posible conocer la densidad D'_H que tendría a la humedad H' (%), mediante la expresión:

$$D'_H = D_H \left[1 - \frac{(1 - \nu)(H - H')}{100} \right]$$

ESPECIES		Peso específico con 15 a 20% de humedad
NOMBRE BOTANICO	NOMBRE VULGAR	gr/cm ³
<i>Pynus sylvestris</i>	Pino silvestre	0,520
Pino montaña	Pino negro	0,570
Pino laricio	Pino salgareño	0,600
Pino Lapensis	Pino Carrasco	0,700
Pino Pinastes	Pino negral	0,650
Pino pinea	Pino piñonero	0,600
<i>Eucaliptus globulus</i>	Eucalipto	0,625
<i>Quercus pedunculata</i>	Roble	0,760
<i>Juniperus sabina</i>	Sabina	0,500
<i>Quercus ilex</i>	Encina	1,100
<i>Quercus lusitánica</i>	Quejigo	0,720
<i>Fagus silvática</i>	Haya	0,750
<i>Ulmus campestris</i>	Olmo	0,690
<i>P. nigra</i>	Chopo negro	0,500
<i>Castanea vulgaris</i>	Castaña	0,600
<i>Gladischia triacantos</i>	Acacia	0,750
<i>Fraxinus excelsior</i>	Fresno	0,760
<i>Abies excelsa</i>	Abeto rojo	0,450
<i>Larix europea</i>	Alerce	0,500
<i>Populus alba</i>	Alamo	0,500
<i>Betula alba</i>	Abedul	0,640
<i>Alnus glutinosa</i>	Aliso	0,530
<i>Carpinus betulus</i>	Carpe u ojaranzo	0,850
<i>Melis</i>	Pino tea	0,850

CUADRO N° 2 - Pesos específicos de las maderas de más interés en Minería con un 15 a 20 por 100 de humedad.

De este modo, si queremos determinar la densidad normal (humedad al 12 por 100), tendríamos:

$$D_{12} = D_H \left[1 - \frac{(1 - v)(H - 12)}{100} \right]$$

En esta expresión de cálculo de valores de densidad a distintas humedades interviene el coeficiente de contracción volumétrica, el cual mide la variación de volumen de la madera cuando la humedad varía un 1 por 100. Este coeficiente caracterizador de las maderas es prácticamente constante en el intervalo existente entre el estado anhidro y el de saturación de las fibras. Su cálculo resulta difícil y laborioso al ser la madera un material anisótropo y extraordinariamente heterogéneo. Su determinación se puede llevar a cabo de acuerdo con la norma UNE 56-533-77.

En el Cuadro Nº 3 se han recogido los valores del coeficiente de contracción según distintos tipos de utilización de la madera.

COEFICIENTE DE CONTRACCION $v\%$	TIPO DE MADERAS
1 a 0,75 %	Madera que se deforma mucho con las variaciones de humedad. Se debe emplear en medios de humedad constante. Ciertas hayas, eucaliptos.
0,75 a 0,55 %	Madera de despieze radial. Roble, carpe, acacia.
0,55 a 0,35 %	Maderas de construcción y entibación.
0,35 a 0,15 %	Madera de carpintería, ebanistería, tornería, escultura: nogal, roble, fresno, y haya blanda; madera blanca, comprendidas las resinosas y la teca.

CUADRO Nº 3 COEFICIONES DE CONTRATACION $v\%$

Los resultados de los ensayos realizados conforme a la norma anteriormente citada, para maderas con el 12% de humedad, se interpretan según el Cuadro Nº 4.

MADERA	RESINOSAS	FRONDOSAS
Muy ligera	< 0,40	< 0,35
Ligera	0,40-0,49	0,35-0,50
Semipesada	0,50-0,59	0,51-0,70
Pesada	0,60-0,70	0,75-0,95
Muy pesada	> 0,70	> 0,95

CUADRO Nº 4 CALIFICACION DE LAS MADERAS DE ACUERDO CON SU DENSIDAD

Un valor anómalo de la densidad, es en muchas ocasiones, consecuencia de una alteración estructural, la cuál repercute también en sus características mecánicas.

Una aproximación del valor del peso específico de la madera para una humedad dada, en función de estas variables en otro estado, puede obtenerse mediante el gráfico de la Figura N° 13, debido a Kollmann.

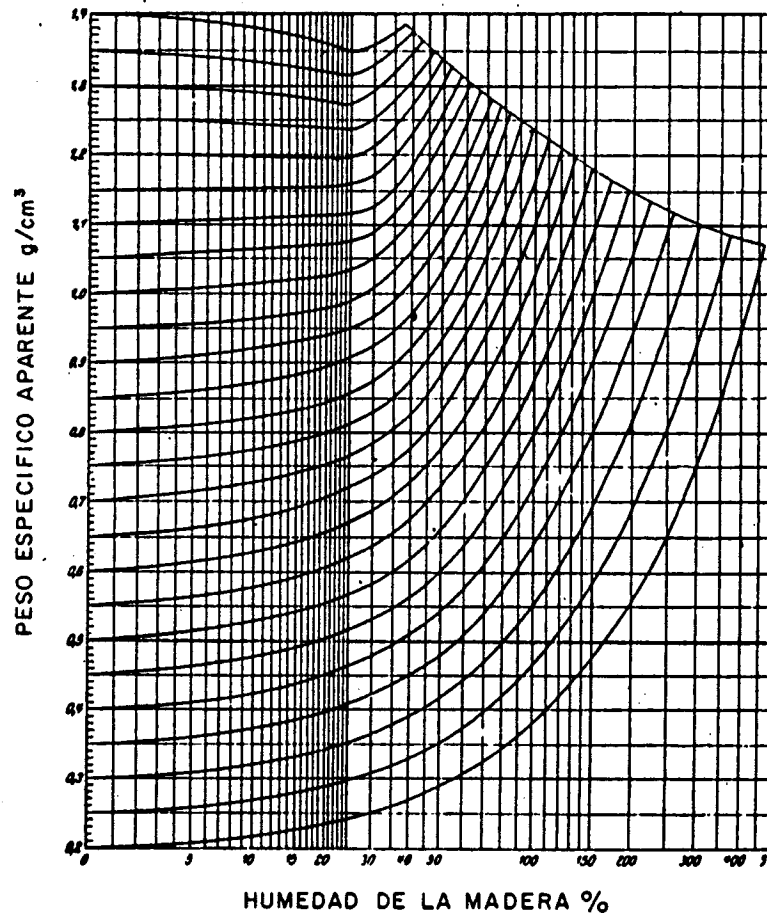


FIGURA N° 13 VARIACION DEL PESO ESPECIFICO CON LA HUMEDAD DE LA MADERA. (según KOLLMAN)

5.1.3. Características mecánicas.

Cada vez resulta más imprescindible a la hora de llevar a cabo los cálculos de diseño de sostenimiento de galerías o de interior de tajos, el disponer de datos de la máxima fiabilidad sobre los elementos soporte designados para la entibación y por consiguiente el ejercer un control de calidad y de características mecánicas sobre estos materiales, es poco menos que obligado, si no se quieren sorpresas desagradables que repercutan en los rendimientos y en la seguridad.

La particular naturaleza de la madera y la irregularidad de sus propiedades, unido a la ausencia total de ensayos por parte del personal minero encargado de las compras de estos materiales, lleva consigo en bastantes casos, el sobredimensionado del sostenimiento, con elevados coeficientes de seguridad y el consiguiente despilfarro.

Las causas de irregularidad de la madera que afectan a las propiedades mecánicas pueden resumirse en los siguientes puntos: la heterogeneidad, la anisotropía, la humedad, los nudos, las distintas proporciones relativas de las materias leñosas: duramen y albura. Todas ellas hacen variar las propiedades mecánicas de una muestra a otra e incluso tomándolas de un mismo árbol.

La madera utilizada como sostenimiento en minería, ya sea conformando cuadros o portadas de entibación de galerías o llaves en las guías de acompañamiento de los tajos, van a trabajar esencialmente por compresión las llaves y las apeas verticales, pandeando éstas últimas cuando se estado de sollicitación y dimensiones se adecuen para ello y por flexión las monteras o trabancas.

Por todo ello, resulta muy importante a la hora de cuantificar parámetros mecánicos mediante ensayos, el consignar datos fundamentales como: el sentido de aplicación del esfuerzo respecto a la posición de la fibra, el grado de humedad de la muestra, las anomalías y alteraciones, tanto de origen interno como extremo, que se comprueben con una inspección previa visual.

5.1.3.1. Compresión axial.

El ensayo de compresión se realiza mediante el aplastamiento de una probeta entre los platos planos de una máquina de ensayo.

La probeta es colocada de forma que la dirección longitudinal de las fibras sea perpendicular a los planos de los platos. La rotura se produce por colapso local de cada fibra, y generalmente, por estallido de la probeta según un plano de pequeña resistencia (plano radial) o bien, por cizallamiento de un plano oblicuo al eje. En estas ocasiones la rotura es un efecto combinado.

Cuando la humedad aumenta, el valor de la resistencia a compresión disminuye hasta el valor crítico correspondiente a la humedad de saturación de las fibras, a partir del cual el valor de la resistencia se puede considerar como constante. Es importante indicar que la variación que puede experimentar la resistencia a compresión axial de una determinada madera al pasar de un estado de humedad normal al punto de saturación de las fibras, puede ser hasta un 40 a 50 por 100 del valor correspondiente al 12 por 100 de humedad.

Consecuencia de ello, es que si se comparan valores determinativos de la resistencia a compresión axial, estos se calculen a una humedad teórica del 12 por 100, o lo más próxima posible a dicho porcentaje.

El ensayo sobre probeta reducida, se encuentra tipificado según la norma española UNE 56-535-77.

Como parámetros comparativos del ensayo de compresión se suelen definir:

1) La cota de calidad estática (C_e^1):

$$C_e^1 = \frac{q}{100 \times D}$$

q: carga por unidad de superficie a la humedad normal.
D: densidad.

2) La cota de calidad específica. (C_e^2):

$$C_e^2 = \frac{q}{100 \times D^2}$$

La cota estática es bastante constante dentro de una misma especie de maderas, y resulta un parámetro medianamente fiable para comparar entre sí maderas con distintas resistencias, en cambio, no se puede decir lo mismo de la cota específica, ya que en la práctica, da valores muy dispersos, cuando son comparados entre sí maderas de diferentes variedades.

Para la especies resinosa y frondosa una clasificación atendiendo al parámetro de la cota estática, es la que se recoge en el Cuadro N° 5.

Las Figuras N° 14 y 15 correlacionan los valores de la resistencia a compresión axial con la densidad al 12% de humedad según ensayos normalizados de laboratorio, llevados a cabo y recogidos de la bibliografía existente. Aunque algunos autores obtienen correlaciones lineales, en nuestra opinión no existe una dependencia clara entre las variedades de madera y la densidad normal a obtener; sin embargo si se puede enmarcar un rango de variación para cada tipo, y una tendencia generalizada de aumento de la resistencia a compresión axial con la densidad normal.

ESPECIES RESINOSAS				
CLASE	Resistencia en Kg/cm ² q	COTA ESTÁTICA C _e		
		Ligero	Semipesado	Pesado
Baja	250-350	< 8	< 7	< 6
Mediana	350-450	8-9,5	7-8,5	6-7,5
Alta	> 450	> 9,5	> 8,5	> 7,5

ESPECIES FRONDOSAS				
CLASE	LIGERA		SEMIPELADA	
	q Kg/cm ²	C _e	q Kg/cm ²	C _e
Baja	200-300	< 7	275-375	< 6
Mediana	300-400	7-8	375-475	6-7
Alta	400-600	> 8	475-600	> 7
CLASE	PESADA		MUY PESADA	
	q Kg/cm ²	C _e	q Kg/cm ²	C _e
Baja	400-500	< 6	500-600	< 7
Mediana	500-700	6-7	600-800	7-8
Alta	700-800	> 7	800-1.000	> 8

CUADRO Nº 5 CALIFICACION DE LAS MADERAS SEGUN EL VALOR DE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y SEGUN LA COTA ESTÁTICA DE RESISTENCIA PARA MADERAS CON EL 12% DE HUMEDAD. (M. AGRICULTURA I.F.I.E. - MADRID (1967))

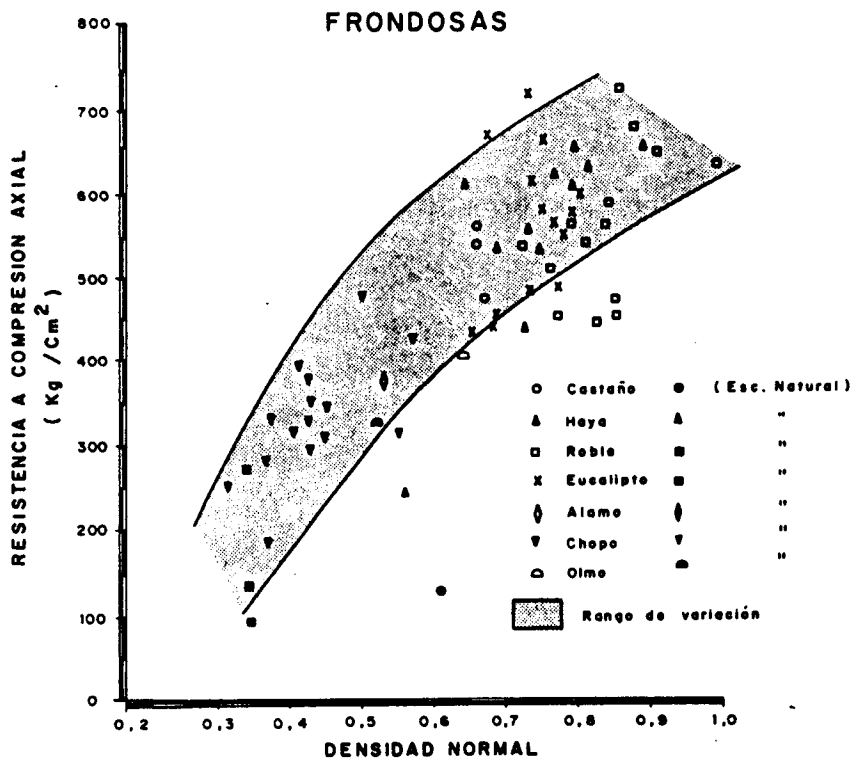


FIGURA Nº 4 VARIACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION AXIAL CON LA DENSIDAD NORMAL EN FRONDOSAS.

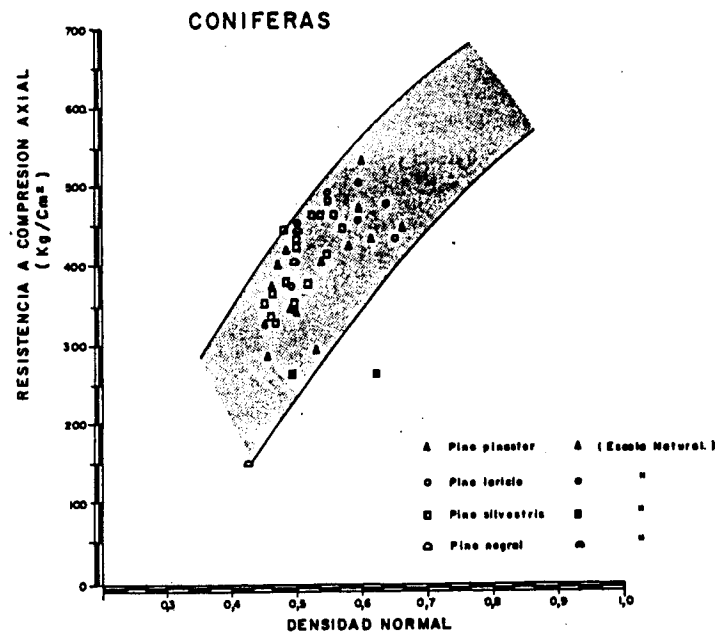


FIGURA Nº 15 VARIACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION AXIAL CON LA DENSIDAD NORMAL EN CONIFERAS.

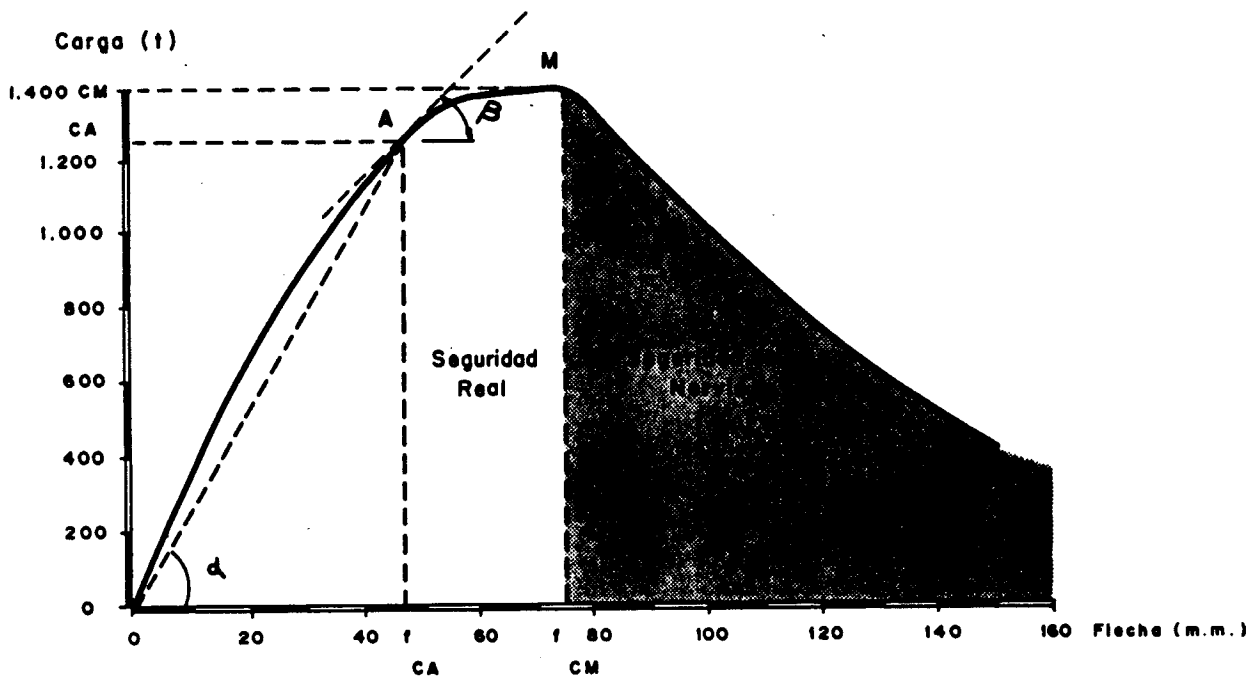


FIGURA Nº 16 GRAFICO - TIPO DE UN ENSAYO DE FLEXION ESTATICA

5.1.3.2. Flexión estática.

La resistencia a la flexión estática se obtiene en un ensayo de flexión simple. Normalmente se lleva a cabo sobre probetas reducidas pero el ensayo aporta una mayor información si se verifica a escala natural.

La prueba consiste en aplicar sobre una probeta colocada entre dos apoyos una carga lentamente creciente hasta la rotura de la misma, con registro de la flecha producida; ello da lugar a una curva del tipo: $C = f(y)$ con forma parecida a la que se representa en el gráfico tipo de la Figura N° 16.

En la curva $C = f(y)$ podemos distinguir tres partes:

La primera OA corresponde al campo de trabajo que podríamos considerar como elástico, caracterizado por una ordenada f_{CA} para una carga CA.

La segunda AM, en donde a un pequeño aumento de la carga corresponden deformaciones importantes.

La carga máxima que soporta la pieza es CM y f_{CM} es su flecha.

La tercera parte es una línea irregular descendente que comienza en M y que corresponde al agotamiento de la pieza. La ordenada de este punto divide al área definida entre la curva y el eje de abscisas en dos zonas, una a la izquierda de f_{CM} en donde la pieza trabaja sin riesgo de colapso y otra a la derecha, cuya medida da el trabajo después de la rotura. Este último, que podemos denominarlo: trabajo de desfibramiento, es el más interesante para la seguridad. Su relación con el trabajo total desarrollado se llama "nervio", y es éste el que permite determinar si alcanzada la carga de rotura CM, la montera o trabanca de un cuadro rompe bruscamente sin avisar o se desfibra lentamente, aguantando aún una importante carga.

Por otra parte, ciertas maderas cuando inician el desfibre o rotura inicial de sus células, liberan energía elástica con emisión de ruidos que constituyen claras advertencias acústicas de la proximidad de la carga máxima CM, la cual, cuanto más elevada sea, mayor es la seguridad intrínseca de la pieza ensayada.

Para la determinación de la carga de rotura unitaria, la expresión habitual de la flexión plana no representa bien el fenómeno, ya que los valores de resistencias unitarias se ven afectados, para una misma muestra por su longitud y por su sección.

El ensayo determinativo de la resistencia a la flexión estática sobre probeta reducida se encuentra normalizado según UNE 56-537-79 y los resultados se interpretan conforme el Cuadro N° 6.

CALIDAD DE LA MADERA	RESISTENCIA A LA FLEXION ESTATICA σ (kg/cm ²).
Baja	Inferior a 1.100
Mediana	1.100 a 1.800
Alta	Superior a 1.800

CUADRO N.º 6 CALIFICACION DE LAS MADERAS SEGUN EL VALOR DEL ENSAYO DE FLEXION ESTATICA CON EL 12% DE HUMEDAD.

(Mº AGRICULTURA I.F.I.E. Madrid (1967))

El cociente de la longitud (L) de la muestra a la flecha máxima alcanzada (f), permite definir el parámetro o cota de rigidez a la rotura: L/f. Su valor califica la idoneidad de una madera frente a la flexibilidad o la deformabilidad. (Cuadro N° 7).

5.1.4. Alteraciones de la madera.

5.1.4.1. Defectos de la forma.

Afectan al grado de axialidad del eje del rollizo.

CALIDAD	L/f	APLICACIONES
Rígida	50 - 40	Leños y maderas nudosas. Entibación rígida.
Medianamente elástica	40 - 30	Entibaciones semirígidas
Elásticas	30 - 20	Maderas curvas. Usos en carpintería.

CUADRO N° 7 CALIFICACION DE LA COTA DE RIGIDEZ A LA ROTURA

FUSTES CURVADOS:

La curvatura de los fustes ya sea plana o helicoidal, es una característica hereditaria o causada por las condiciones de calidad del suelo, pendiente del terreno, fuerza del viento, peso de la nieve, etc. Es tanto más depreciada como madera cuanto mayor sea la flecha medida en la zona de mayor curvatura y también en razón al número y condiciones de las curvas. Si se encuentran en distinto plano la madera es inutilizable.

Es defecto frecuente en la madera de pino procedente de la especie *P. Halepensis*.

ENTRECORTEZA O ENTRECASCO:

Consiste este defecto en la presencia de un trozo de corteza entre anillos de madera y generalmente va seguido de la aparición de otro corazón, lo cual predispone a estas maderas a muchas enfermedades. De cara a su utilización en mina resulta no apta.

AHORQUILLADO:

Se produce cuando se forman dos o más troncos en vez de uno solo. Es corriente este defecto en algunas frondosas que crecen aisladas. Su empleo en mina debe estar proscrito.

OQUEDADES: Surgen con los años cavidades profundas (huecos axilares) que inutilizan la madera. Debe no ser utilizada.

5.1.4.2. Defectos en la estructura.

Son numerosos y se pueden agrupar en la siguiente forma:

5.1.4.2.1. Debidos a factores internos.

IRREGULARIDAD DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO:

Se observa en aquellos rollizos que tienen anillos de crecimiento de gruesos muy distintos, es madera de baja calidad pero no resulta en principio inutilizable en minas.

EXCENTRICIDAD DE CONRAZON:

Es una desviación medular apreciable en el exámen visual de una sección del rollizo. Esta madera tiene estructura heterogénea y es de poca elasticidad y resistencia. Si no es muy notable la excentricidad, esta anomalía no suele tener trascendencia.

MADERA REVIRADA O GIRADA:

Defecto que se acusa exteriormente por un estriado espiralado visible en su parte externa.

Este tipo de madera resulta adecuada para pies derechos y está muy indicada para apeas donde el rollizo haya de estar solicitada a torsión.

MADERA BORNE:

Es una madera que carece de tejido fibroso, sobreabundando el vascular, es quebradiza, menos densa, poco elástica y más propensa al hinchamiento por la humedad. Se reconoce por su color más oscuro que lo normal. Debe desecharse para su utilización en minas.

MADERA ALBURENCA:

Es una madera muy esponjosa, procedente de sitios pantanosos. Al secarse aparecen unos vasos abiertos muy amplios. Debe desecharse para su empleo en minas.

MADERA TRENZADA:

Tiene las fibras cruzadas, difíciles de labrar y muy poco elástica. La fractura resulta frágil. Es desechable para las minas.

MADERA EMBARRADA:

Presenta veteados de distintos colores. Las maderas con alternancias veteadas blancas y negras deben desecharse, pues son signos de pudrición.

NUDOS:

Proceden de la especial constitución del tejido de la madera, a consecuencia de la formación de una rama que después de caer por la poda, queda sin envolver por la madera que posteriormente se forma.

Los nudos producen desviación en las fibras y una desarticulación anular de la madera en sus inmediaciones. Son siempre lugares propicios al asiento de invasiones de insectos y hongos. Constituyen siempre una interrupción en la continuidad de las fibras, por lo cual minoran su resistencia localmente.

BOLSAS DE RESINA:

Son pequeñas bolsas planas, llenas de resina que aparecen dentro de un anillo de crecimiento anual. Se presentan sólo en las coníferas. La calidad de la madera disminuye con el número y tamaño de las bolsas.

ANOMALIAS EN EL DURAMEN O EN LA ALBURA:

Son irregularidades que presentan las secciones transversales del tronco, con diversidad de formas y colores; la tipología de maderas en que aparecen, no suelen ser empleadas en minería.

5.1.4.2.2. Debidos a factores externos.

FENDAS:

Son grietas más o menos desarrolladas. Las hay que son consecuencia de las heladas y adoptan por lo general una disposición longitudinal más o menos profunda; las de insolación que son pequeñas grietas producidas por recalentamiento solar, y las de desecación, que son grietas profundas que se producen en la superficie de la madera por desaparición de la humedad a velocidades altas.

ACEBOLLADURAS O FENDAS ANULARES:

Es la desarticulación total o parcial de los anillos de crecimiento anual. En las coníferas es frecuente la acebolladura, o sección con anillos de espesor variable, defecto que proviene de claros demasiado extensos realizados en los bosques. Suele ser una madera poco resistente, que por lo general hay que desechar.

PATA DE GALLO:

Es una fenda que se inicia en el corazón de la madera y se ramifica. Es indicio de pudrición. Son variantes de esta anomalía "el corazón estrellado" y el "corazón partido". Este tipo de madera no resulta recomendable.

DAÑOS DIVERSOS:

Producidos por los rayos, la nieve, los vientos huracanados, etc. Su empleo está condicionado por la intensidad del daño.

5.1.4.3. Pudriciones y tratamientos.

Las causas que intervienen en la destrucción de la madera son: el fuego, las perturbaciones atmosféricas, la desintegración físico-química, la desintegración mecánica, los hongos, las bacterias, los insectos y otros animales y la acción del hombre. De todas ellas, la más importante es el fuego, ocupando los hongos el segundo lugar.

5.1.4.3.1. Destrucciones por hongos.

Las más graves son las producidas por hongos lignícolas; entre estos, unos se desenvuelven en la madera sana y verde, son los hongos parásitos, y otros no atacan más que la madera muerta, son los saprófitos, de estos los más importantes son los xilófagos.

Los hongos saprófitos penetran en la madera a través de heridas producidas por alguna rama cortada o en descomposición. Algunos llegan a descomponer la albura, pero en una gran mayoría, es la zona del duramen donde se desarrollan. Un gran porcentaje de hongos xilófagos mueren al tener lugar la tala del árbol en el que vegetan, pero sin embargo, existen otros que continúan viviendo en la madera apeada, si las condiciones de humedad no son muy desfavorables.

Para el reconocimiento de los tipos de alteraciones por hongos, éstas se pueden agrupar en la forma del Cuadro N° 8.

TIPOS DE ALTERACIONES POR HONGOS	CAMBIOS DE COLOR DE LA MADERA	
	PUDRICIONES	DEL ARBOL EN PIE
		DE LA MADERA APEADA Y PUESTA EN MINAS

CUADRO N° 8 TIPOS DE ALTERACIONES POR HONGOS.

Entre los tipos de pudriciones observadas, destacan por su importancia la pudrición parda y la pudrición blanca.

PUDRICION PARDA o también llamada destructiva, produce rápidamente una deformación completa en la estructura de la madera. Las maderas atacadas por especies que dan este tipo de pudrición visible llega a ser importante cuando la apea tiene una pérdida del orden del 20 a 30% de su peso, correspondiendo esta pérdida al 70-75% del valor de la resistencia mecánica, inicialmente prevista.

PUDRICION BLANCA también denominada corrosiva, conserva mucho más la forma normal de la madera. Se ha observado por distintos autores (Kraemer et al. 1960) que la desintegración completa del aspecto fibroso tiene lugar, a partir del 60-70% de las pérdidas en peso. Un caso anómalo, de destrucción de la madera es el que tiene lugar por descomposición alternativa de la celulosa y de la lignina, con manifestaciones de manchas blancas en áreas en donde se carece de lignina y el contenido en celulosa es muy bajo.

Otras alteraciones fácilmente reconocibles son:

MADERA AZULADA. Se presenta en la albura de las coníferas, con frecuencia en los pinos. En general, esta alteración afecta poco a su peso específico aparente y a sus características de resistencia mecánica.

PUDRICION VERDE. Se presenta en algunas frondosas como: el haya, el roble, el castaño, el aliso, aunque también aparece en los pinos. Ataca a las maderas que, después de la corta han sido abandonadas en el monte.

MADERA PASMADA DE HAYA. Consiste en una colocación rojiza, pardo-rojiza o parda que penetra más o menos profundamente en el tronco a partir de la superficie de la sección de apeo. La resistencia mecánica no varía mientras aparece la pudrición. Cuando aparece, disminuye rápidamente.

Algunos factores con especial influencia en el desarrollo y permanencia de los hongos son:

- El pH ácido del medio.
- El grado de humedad.
- La temperatura.
- El grado de ventilación.

5.1.4.3.2. Destrucciones por bacterias.

Las bacterias que descomponen la celulosa son, fisiológicamente, las más importantes en la descomposición del leño. Se pueden diferenciar dos tipos: las bacterias aerobias y las anaerobias; siendo éstas últimas las que generalmente predominan.

La acción de estas bacterias en la descomposición de la madera debe entenderse como una actividad enzimática que al principio consigue una hidrólisis de la celulosa, la que luego se transforma por fermentación en los productos finales de la descomposición. A pesar de que seguramente las bacterias usan enzimas diferentes

a las de los hongos. parece que no existe gran diferencia entre los efectos, excepto que las bacterias normalmente no pueden descomponer objetos de mayor tamaño como lo demuestran troncos conservados durante muchos siglos en los suelos pantanosos, en los cuales, las hojas y el pequeño ramaje se desintegra con rapidez.

De la observación de las maderas puestas en mina o en obra civil, se incluye, que la influencia en la pudrición de material leñoso imputable a bacterias por una acción directa, tiene escasa importancia.

5.1.4.3.3. Destrucciones por insectos xilófagos.

Los insectos son el grupo que incluye a la mayoría de las especies de animales destructores de la madera.

Los parámetros principales que gobiernan su velocidad de desarrollo y regenerativa son: la temperatura, la humedad y la alimentación.

El daño más frecuente producido por insectos en la madera que se utiliza en mina es el seudocarcoma ocasionado por Coleópteros de las especies de los: Cerambícidos, Escolítidos, Platipódidos y Líctidos.

En todos los casos la resistencia estructural de la madera se ve afectada.

5.1.4.3.4. Tratamientos de la madera con vistas a mejorar sus cualidades mineras.

El objetivo de estos tratamientos es proteger la madera frente a los elementos que tienden a destruirla. De estos, por las acciones que desencadenan los más peligrosos son los hongos, como anteriormente se ha reflejado, capaces de destruir las entibaciones con carácter permanente.

No se ha llegado a una solución única de tratamiento, que pudiera considerarse como la mejor, y concretamente en la minería española, en general cada explotación emplea el medio que está más a su alcance, o el que le resulta más barato, o no emplea ninguno.

Es importante indicar que la elección de un sistema de impregnación en la madera de mina no es exclusivamente un problema científico sino que es más bien un problema de tipo económico, en el que intervienen factores diversos como los de seguridad, incremento de resistencia, ambientales, de maniobrabilidad, etc. La impregnación no es necesaria en aquellas entibaciones de tajo de explotación o de galerías que están sometidas a fuertes tensiones, las cuales induzcan el colapso de los rollizos, pues de nada sirve el tratar una madera cuya vida ha de ser muy corta. Sin embargo, este proceder si resulta adecuado en aquellos casos en que se diseñe y dimensiones una fortificación rígida y duradera, ya que, una putrefacción rápida anularía estas ventajas.

La madera que es destinada al interior de una mina, sufre acciones distintas de la que es utilizada en superficie, y así, por ejemplo es atacada más severamente por el aire de ventilación. El efecto del tratamiento resulta notable en aquellas galerías recorridas por el flujo de aire de retorno, así como también los transversales de arrastre, que deban de permanecer largo tiempo en servicio.

El éxito o fracaso de una impregnación depende de las cualidades de la madera para ello; hay maderas como el roble, que difícilmente admiten algunas de las sustancias empleadas. El resultado de la impregnación naturalmente, depende de la composición y propiedades de las sustancias utilizadas y del sistema de impregnación que se lleve a efecto.

En general, entre las ventajas que se consiguen pueden citarse:

- a) una mayor duración de la madera de entibación.
- b) una disminución en los trabajos de sustitución y renovación de las piezas que conforman los cuadros.
- c) una economía en los costes.
- d) una disminución del número de accidentes, con reflejo directo en la seguridad y productividad de la explotación.

Como sustancias impregnantes de la madera de mina son preferidos los productos inorgánicos, toda vez que los productos oleosos tienen el gran inconveniente de su fácil inflamación. La mayoría de ellos son sales de varios metales, entre los que destacan los productos que contienen sales formadas por ácidos del flúor. Es muy variable de un producto a otro el grado de su toxicidad.

Otros compuestos empleados en los tratamientos son: las sales de sodio, potasio y amonio, el cloruro de sodio, el fluoruro de sodio, las sales de zinc, las sales de mercurio, las sales de cobre, etc.

Los conservantes que dominan el mercado, tanto en Alemania, Inglaterra, Suecia, Africa del Sur, Japón y la URSS, por citar algunos países donde con regularidad u obligatoriedad se impregnan las maderas de mina, son productos compuestos por sales de los tipos:

- flúor - cromo - dinitrofenol
- flúor - cromo - arsénico -
- cobre - cromo - boro
- flúor - cromo - dinitrofenol - sulfato de zinc.

Todas ellas, con efectos ignífugos de distinta intensidad, y usándose en concentraciones que varían entre los 4 Kg/m³ y los 7 Kg/m³.

El coste de las sales está en consonancia con el efecto de su acción; los productos más caros, generalmente, resultan ser aquellos compuestos que contienen el cloruro de mercurio, y las sales de una actividad más reducida como el sulfato de hierro y la sal común, son las más baratas.

Como inconvenientes más generalizados de los sistemas de impregnación pueden citarse los siguientes:

- Aumento del peso del rollizo o traviesa, lo cual incide en su transporte y manejo.
- Muchas de las sustancias empleadas vician el aire de ventilación de la mina.
- Los productos que se utilizan en los tratamientos aumentan la combustión de la madera, dando en algunos casos, gases tóxicos, y a su vez inflamables.
- Las sustancias utilizadas, en algunos casos son susceptibles de producir alergias.
- Unas mayores dificultades a la hora de trabajar la madera tratada.
- En general, la resistencia de la madera no se modifica por los tratamientos de impregnación.
- Normalmente hay que descortezar el rollizo, para dar el tratamiento a una apea.

El Cuadro N° 9 refleja algunos tipos de impregnación llevados a cabo en rollizos de mina y la duración alcanzada.

TIPO DE IMPREGNACION	AL AÑO	A LOS DOS AÑOS	A LOS TRES AÑOS
Sin impregnar	Cargados de moho y descompuestos.	Han sido ya sustituidos	Han vuelto a ser sustituidos.
Creosota	Están igual que el día de colocación.	Están en buen estado	Están parcialmente descompuestos, principalmente en las caras de los rollizos expuestos a la corriente de aire.
Sulfato de cobre (Solución al 1 por 100)	Tienen un principio de descomposición, más visible en la cara del rollizo expuesta a la corriente del aire.	Están parcialmente descompuestos.	Totalmente descompuestos.
Sulfato amónico	Totalmente descompuestos y en peor estado que los sin impregnar.	Han sido sustituidos.	Han vuelto a ser sustituidos.
Fluoruro de sodio (Solución al 1 por 100)	Están en buen estado.	Ligeramente descompuestos.	Totalmente descompuestos.

CUADRO N° 9 ALGUNOS TIPOS DE IMPREGNACION LLEVADOS A EFECTO EN ROLLIZOS DE MINA Y LA DURABILIDAD CONSEGUIDA.

5.2. EMPLEO DE LA MADERA EN MINERIA.

5.2.1. Tipos.

Las clases de maderas utilizadas en entibaciones mineras, tanto permanentes como provisionales, pueden resumirse en:

MADERAS DE CONIFERAS:

- Pino laricio, Pino silvestris, Pino pinaster, Pino negral.

MADERAS DE FRONDOSAS:

- Roble, Castaño, Olmo, Haya, Eucalipto, Alamo, Chopo, Aliso ...

Las de mayor demanda y consumo en las minas son las especies resinosas y después, el eucalipto, el roble, el castaño, el chopo y el olmo, entre las frondosas.

Cada madera tiene sus ventajas e inconvenientes según el parámetro físico o mecánico que se considere. El Cuadro N° 10 es una clasificación de las especies más usuales en mina, atendiendo a las propiedades de: resistencia a las presiones según la dirección de la fibra, resistencia al agua y resistencia al grado de humedad ambiental.

PARAMETRO FISICO O MECANICO	CALIFICACION	ESPECIES DE MADERAS
Resistentes a las presiones según la dirección de la fibra.	Buenas Aceptables Medianas	Roble, Haya. Pino laricio, Pino pinaster, Pino negral, Castaño. Chopo, Alamo, Eucalipto.
Resistentes al agua	Buenas Aceptables Medianas	Roble. Haya. (si no está seca). Alamo, Chopo, Eucalipto, P. Pinaster, P. laricio.
Resistentes a la humedad ambiental.	Buenas Aceptables Pasables Mediocres	Roble. Pinos, Eucalipto. Alamo, Chopo. Haya.

CUADRO Nº 10 CLASIFICACION DE LAS MADERAS MAS USUALES EN MINA POR CALIDADES, ATENDIENDO A LAS PROPIEDADES DE: RESISTENCIA A LAS PRESIONES SEGUN LA DIRECCION DE LA FIBRA, RESISTENCIA AL AGUA, Y RESISTENCIA AL GRADO DE HUMEDAD AMBIENTAL.

5.2.2. Características exigibles a la madera para su utilización como sostenimiento.

El minero quiere madera que ofrezca *seguridad* y que *prevenga* antes de su rotura, para ello tiene que cumplir esencialmente dos características:

- 1) Que "cante", es decir, que revele al oído los crujidos procedentes del desgarramiento de las fibras, por la acción de los terrenos con los que está en contacto.
- 2) Que la deformación "salte a la vista", con la aparición de grietas longitudinales, hendiduras o de una flecha importante antes de una rotura transversal.

En medio del ruido de la perforación y de la maquinaria de arranque y transporte de un taller, el oído no puede percibir los débiles crujidos que preceden a la rotura, como son perceptibles en la mayoría de los casos en los ensayos llevados a cabo en laboratorio y a escala natural; en cambio, si es perceptible la fuerte sonoridad del colapso de la afea del cuadro o de la trabanca. En el caso de que el rollizo se rompa en dos trozos bruscamente, con separación de ambos, sin admitir ningún tipo de carga, es cuando entonces se dice que la madera no tiene "nervio". Si, por el contrario, la madera se desgarrá lentamente y puede aún absorber cierto trabajo, manteniendo un cierto grado de confinamiento de los hastiales, es que tiene "nervio" y ha prevenido antes de quebrar.

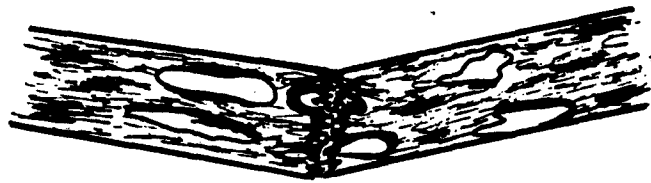
Por ello, el concepto de "nervio", resulta de importancia vital a la hora de buscar el mejor rollizo destinado a la mina. Este "nervio" no puede medirse fácilmente, más que en ensayos de flexión.

En suma, el concepto de "nervio" en la madera corresponde técnicamente a que la rotura sea frágil (sin nervio) o con un cierto grado de comportamiento plástico y mantenimiento de las tensiones soportadas con deformaciones crecientes. La rotura frágil en madera vendrá por tanto favorecida por:

- Envejecimiento de la fibra. Maderas muy secas o provenientes de árboles muy viejos.
- Existencia de zonas de mayor concentración de lignina, como nudos, etc.
- especies arbóreas de mayor densidad y por tanto mayor contenido en lignina como la encina, el alcornoque, etc.



Desfibramiento Lento



Rotura sin Nervio

FIGURA Nº 17 TIPOS DE ROTURAS EN ENSAYOS A FLEXION DE ROLLIZOS

Durante el proceso de carga lenta en una prueba de compresión axial, el puntal sin nervio cede muy ligeramente bajo el estado de sollicitación de carga máxima; la rotura se produce por los nudos más desarrollados y voluminosos, crujiendo fuertemente a causa del desgarramiento de las fibras.

Este proceso resulta frecuente en el caso del pino silvestre, que tiene nudos voluminosos en su corona que desminuyen su resistencia unitaria en determinadas secciones.

El puntal o afea que tiene nervio, por el contrario, quiebra en un punto cualquiera, cruje fuertemente pero su lenta deformación continúa; desfibrándose poco a poco (Figura Nº 17), es el caso por ejemplo, del roble y algunas frondosas, que tienen nudos pequeños, y la rotura no es fácilmente localizable por disminuir muy poco su resistencia y su nervio.

Resulta pues imprescindible, la exigencia de una serie de cualidades a las maderas, para su utilización en mina; éstas podrían resumirse en la forma siguiente:

- 1.- Comportamiento elatoplástico para niveles altos de tensiones con aviso audible.
- 2.- Resistencia a la humedad.
- 3.- Peso no excesivo, para no influir en su transporte y maniobrabilidad.
- 4.- Estar lo más sana posible, sin enfermedades ni puntos de debilidad como pudieran ser las grietas o los nudos.
- 5.- Una respuesta resistente conocida y adecuada en cada caso. No rompiendo de forma frágil bajo carga.
- 6.- Debe avisar, acústicamente, previniendo su rotura.
- 7.- La pieza deberá estar lo más derecha posible, para evitar excentricidades de carga.
- 8.- La buena madera de mina, además de un cierto grado de flexibilidad y un comportamiento no frágil deberá de ser dura, siendo las especies resinosas las que mejores valores dan a estos parámetros.
- 9.- La disminución del porcentaje en humedad incidirá en un notable aumento de la resistencia a compresión.
- 10.- El precio de la pieza debe ser coherente con la eficacia y resultados esperables de su uso.

Evidentemente, una misma clase de madera no cumple todas estas cualidades, por lo que los técnicos en sostenimientos mineros deberán elegir entre aquéllas que presenten mejores propiedades de cara al trabajo u operación a realizar en cada momento, ponderando en todo caso el coste de la realización.

5.2.3. Usos de la madera como elemento de sostenimiento en galerías de acompañamiento de tajos en carbón.

Atendiendo a la configuración de la entibación de la galería con madera podemos distinguir básicamente las aplicaciones siguientes:

1.- ENTIBACION SIMPLE:

Cuando son empleados exclusivamente estemples firmemente acodalados entre los hastiales. Este sistema puede utilizarse en las galerías, pero su campo principal de aplicación son las labores de explotación.

2.- ENTIBACION COMPUESTA:

En donde podemos distinguir:

2.a. *Entibación con portadas o cuadros*, componiéndose cada unidad de tres piezas de madera ensambladas, en donde las dos verticales o ligeramente inclinadas de apoyo, se denominan: "pies", "estemples", "apeas", o "peones" y la horizontal superior que apoya en ellas: "montera", "cabezal", "trabanca", ...

El cuadro puede ser cerrado por una cuarta pieza inferior horizontal denominada "solera".

2.b. *Entibación con llaves con o sin portadas*, donde la llave de madera está constituida por una serie de capas horizontales de maderas de escuadría o rollizos y su misión es soportar firmemente el techo.

En general, suelen ser un refuerzo de la entibación con portadas (Figura N° 18).

De ordinario, las distintas portadas de una entibación están ligadas entre sí por un "revestimiento" o "enranchonado", que tiene por objeto confinar los bloques en los vanos que dejan entre sí las portadas, al mismo tiempo que sirve para arriostrar el conjunto.

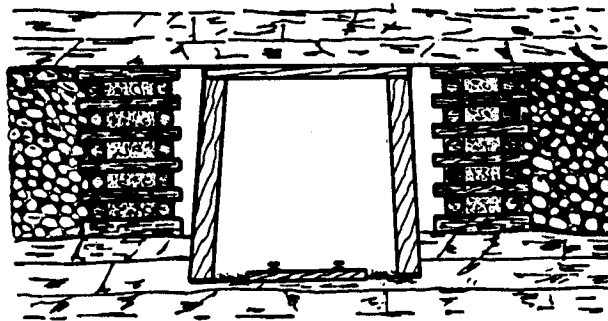


FIGURA N° 18 ENTIBACION CON CUADROS Y LLAVES DE MADERA.

5.3. ESTEMPLES - APEAS - PIES - PEONES. DIMENSIONADO.

En los yacimientos horizontales o muy tendidos, los estemples de madera suelen estar solicitados a compresión, sin embargo, a medida que va aumentando el buzamiento de los estratos aparecen con cierta intensidad esfuerzos a flexión.

Los estemples pueden quebrarse por pandeo, es decir, por esfuerzos de flexión, producida por las cargas que actúan en la dirección del eje axial. El pandeo de los estemples, en la disposición anterior, empieza a manifestarse cuando su longitud es doce veces el diámetro. Stens ya comprobó experimentalmente que el pandeo disminuía la resistencia de una apea, cuando la relación entre su longitud y su diámetro era de 10 a 1.

La resistencia teórica a la compresión axial del rollizo circular considerando que las tensiones tangenciales del cortante pueden ser absorbidas hasta la rotura por la matriz de unión de las fibras, pueden expresarse mediante:

$$R_c = \frac{D^2}{4} r_i$$

donde:

r_i : resistencia por unidad de superficie.

D : diámetro del rollizo.

La resistencia al pandeo, valorada por la fórmula de Euler es:

$$R_p = \pi^2 \frac{EI}{l^2}$$

donde:

l: longitud del estempe

E: módulo elástico

I: momento de inercia de la sección, que para una madera de sección circular vale:

$$I = \frac{\pi D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4} \right)^2 = \frac{\pi D^4}{64}$$

En la Figura N° 19 se han construido las curvas de resistencia teórica de la madera a la compresión axial y al pandeo suponiendo:

$$r = 430 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 10 \text{ Kg/cm}^2$$

Con estas características la madera comenzará a trabajar al pandeo para la relación:

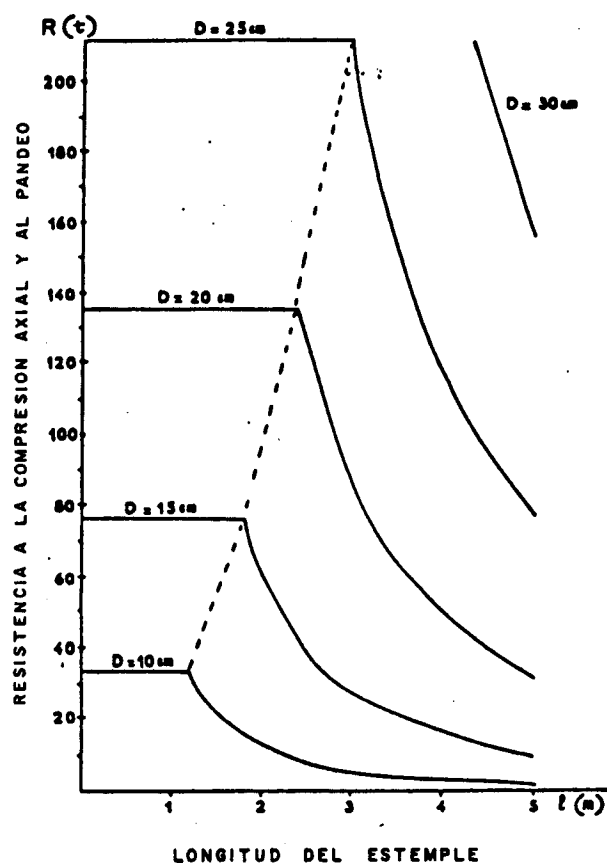


FIGURA N° 19 CURVAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL Y AL PANDEO EN ROLLIZOS DE LA MADERA.

Sin embargo, en el comportamiento real las tensiones tangenciales rompen la matriz de unión entre fibras, dividiéndose el rollizo en varios elementos, en los que la suma de sus resistencias a pandeo es mucho menor que

la resistencia a pandeo del rollizo original. La incurvación de las líneas de resistencia reales se produce por tanto con resistencias mucho menores.

Por otra parte, los estemples pueden estar sometidos a flexiones secundarias inducidas por la desalineación de los esfuerzos de compresión, al desplazarse uno de los hastiales. Cuando, además de las cargas compresivas, los estemples han de soportar empujes normales a su eje principal, transmitidos, directamente por los hastiales o bien por el arriostamiento o el enrachonado, se combinan simultáneamente los estados de trabajo correspondientes a flexión y a compresión.

Las pruebas más idóneas para llevar a cabo, en laboratorios, con el fin de conocer las características resistentes, frente a estas sollicitaciones son por tanto:

- El ensayo de compresión simple
- El ensayo de flexión estática.

5.4. MONTERAS - CABEZALES - TRABANCA. DIMENSIONADO.

La montera fundamentalmente trabaja a flexión y físicamente hay que integrarla dentro de la unidad de sostenimiento que constituye la portada, que desde el punto de vista mecánico puede considerarse como un pórtico, articulado tanto en sus apoyos como en sus uniones con las apeas o estemples.

Los tipos de ensambles permiten a los elementos de las portadas recibir y transmitir empujes, y según predominen en una u otra dirección se preparan los ajustes en una galería. Estos exigen una realización cuidadosa y al ejecutarlos es preciso que la madera trabaje lo menos posible a tracción en el sentido normal a la fibra.

Al poder estar sollicitados los cabezales por esfuerzos del mismo tipo que los estemples, los ensayos mecánicos a llevar a cabo para su reconocimiento, son análogos.

Un predimensionado de estas monteras, puede realizarse para el caso de sostenimientos con portadas, en galerías de carbón que hayan de excavarse en unidades de estratos horizontales o de escaso buzamiento ($< 8^\circ$). Para ello, y tomando como punto de partida los valores de resistencia a tracción obtenidos en los ensayos a flexión, llevados a cabo para este trabajo, se ha correlacionado para los distintos tipos de madera, los parámetros geométricos (el diámetro y la longitud del rollizo) con la carga lineal de rotura normal a la pieza, expresada en t/m. (ver Figura N° 20). Dichos ábacos son válidos en unidades de madera sin alteraciones importantes y en comportamientos elásticos de trabajo.

5.5. LLAVES DE MADERA - CURVAS TENSION - DEFORMACION.

Cuando la entibación de las galerías que acompañan al tajo en explotación es de forma compuesta, los terrenos no están soportados únicamente en puntos aislados, sino a lo largo de una o varias líneas sensiblemente paralelas al eje de la galería.

Las llaves de madera, constituídas por filas horizontales de rollizos sin desbaste o maderas con escuadría, constituyen un tránsito entre la entibación del taller y el sostenimiento dado a la galería. Si en cada fila son colocadas al menos dos rollizos o maderas de escuadría, el número de puntos de cruce en la llave es de cuatro.

Normalmente, la madera utilizada cuando este sistema de utilización se lleva con asiduidad, es nueva, y ha sido previamente cortada a las dimensiones necesarias.

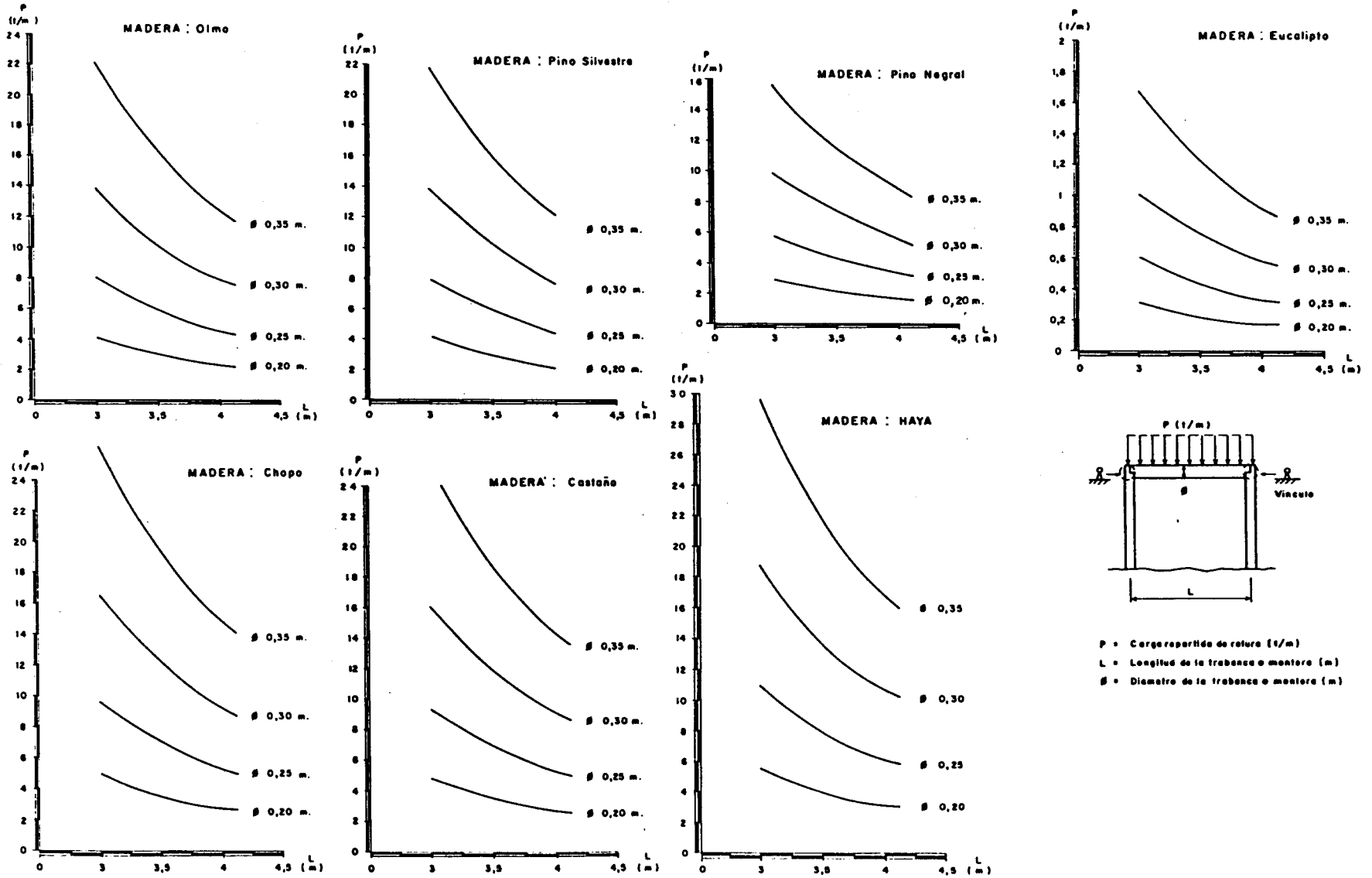
En una disposición con estratificación horizontal o de escaso buzamiento ($< 15^\circ$) la construcción de las llaves no presenta dificultad alguna. Sin embargo, estas ventajas van desapareciendo a medida que el buzamiento crece, y para valores fuertes de éste, es necesario apoyar los rollizos o maderos para evitar su deslizamiento.

La misión de las llaves de madera es la de soportar firmemente los hastiales, impidiendo en lo posible su deformación; fundamentalmente el área que afecta a la galería. Por otra parte, deben permitir del lado del taller, la fracturación y el posterior hundimiento del techo; en aquellos casos en que se lleve un método de explotación por hundimiento con o sin relleno.

Las llaves no suelen construirse con rollizos, sino con madera escuadrada, a fin de aumentar la superficie específica de apoyo de unos maderos con otros y con ello la resistencia del conjunto de la llave. Conviene también, en lo posible, emplear maderas duras, como el roble, a fin de tener una llave rígida, que no permita acortamientos superiores al 10% de la altura primitiva, por estas razones, se vienen utilizando con frecuencia las traviesas de desecho de los ferrocarriles, sin sopesar algunas de sus desventajas, como el creosotado, etc.

Cuando no deba de prevalecer el criterio de entibación rígida, y se vaya al diseño de un sostenimiento elástico, las llaves de rollizos, ofrecen la ventaja de su alta compresibilidad, que permiten deformaciones hasta el 50% de su altura inicial.

FIGURA N° 20 ABACOS PARA EL DIMENSIONADO DE MONTERAS O TRABANCAS



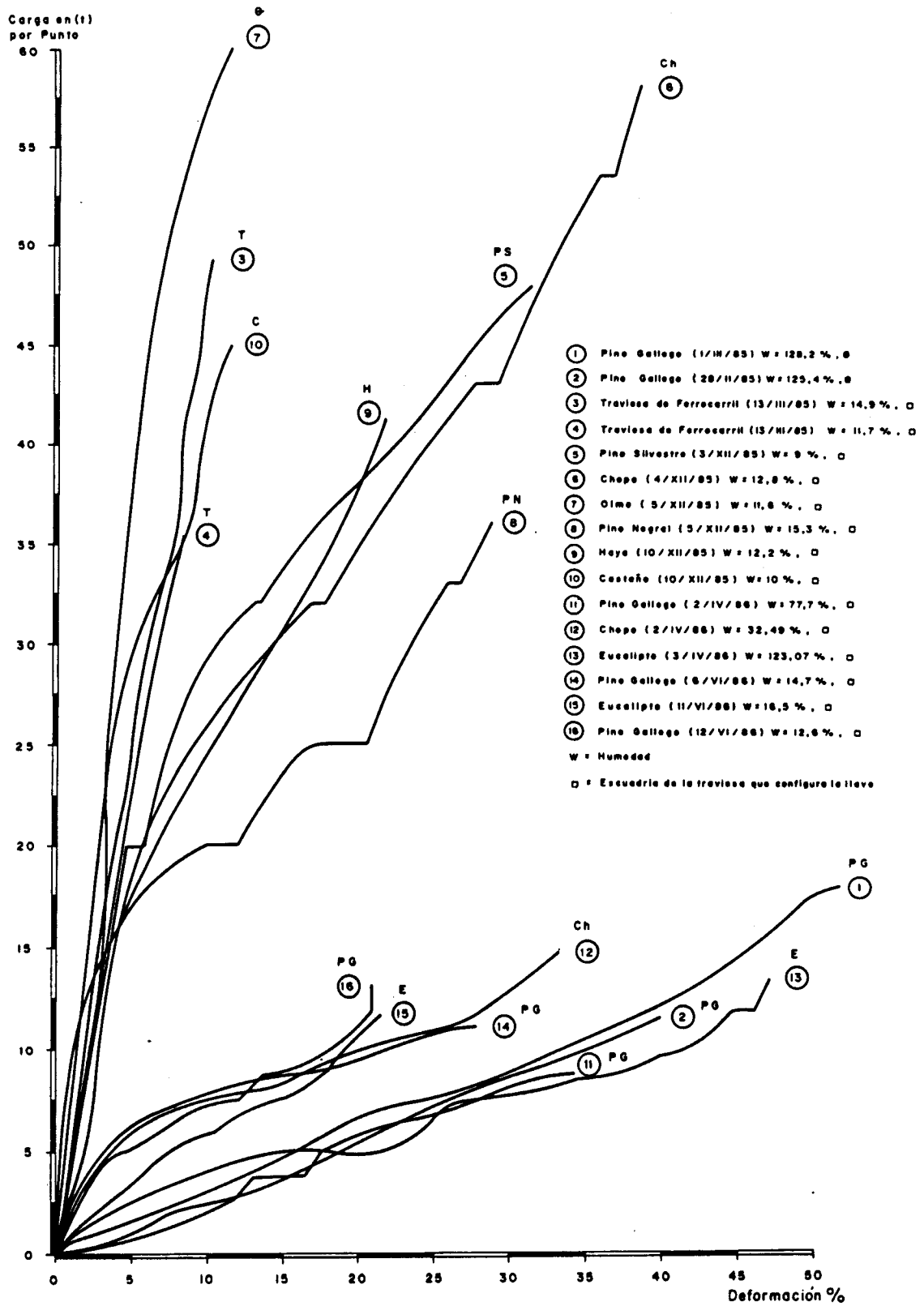


FIGURA Nº 21 COMPORTAMIENTO TENSO - DEFORMACIONAL DE LAS LLAVES DE MADERA

En cualquier caso, la distancia entre llaves está supeditada a la magnitud de presión a soportar, y en general debe evitarse todo lo que perjudique a su libre deformación bajo carga, o dicho de otro modo, a su forma de trabajar; así, especialmente se evitarán rodearlas de estampes, y si esto resulta inevitable, deberán darse formas puntiagudas a sus extremos, para concentrar las cortantes y mejorar la rotura.

La Figura N° 21 compendia las curvas tensión-deformación de distintos tipos de maderas, a diferentes humedades, frecuentemente utilizadas en la construcción de llaves de protección de galerías en carbón. Como puede observarse, la incidencia del contenido en humedad, en la capacidad portante es muy notoria. Si comparamos este comportamiento con las curvas tensión-deformación que, para llaves de madera, se han publicado (Figura n° 22), puede deducirse que, en el momento de su utilización en mina, las maderas presentaban un grado de humedad mucho menos en estos casos, que en los contrastados en nuestro país, debiéndose a ello, la mejor respuesta en su capacidad portante, solamente comparable con las curvas de la Figura N° 21, correspondientes a variedades de madera, con humedades comprendidas entre el 10 y el 15%.

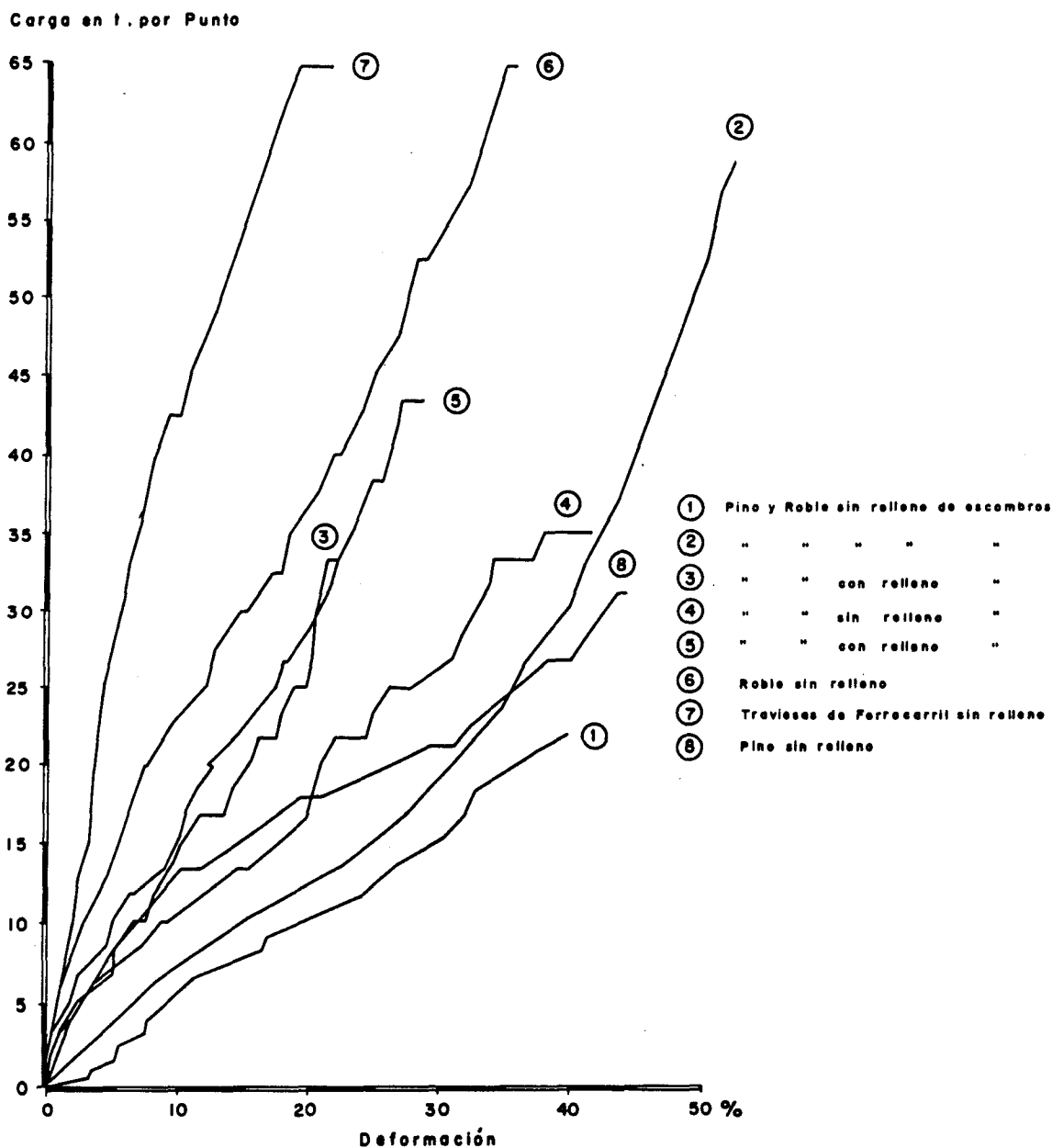


FIGURA N° 22 COMPORTAMIENTO TENSO - DEFORMACION DE LAS LLAVES DE MADERA

6.- OTROS MATERIALES ALTERNATIVOS A LA MADERA.

Los esfuerzos originados por el tajo se transmiten en gran parte a las llaves. La deformación de éstas crea unos esfuerzos a su vez sobre el techo de la galería por movimiento relativo de los apoyos de éste a ambos lados, que pueden llevar a su rotura o para evitar el hundimiento de la citada galería, la necesidad de reforzar el sostenimiento.

La utilización de elementos más rígidos en la fortificación de galerías de acompañamiento de tajo, de sostenimientos activos a base de bulonajes, etc, conlleva, por tanto, una capacidad de absorción de esfuerzos debidos al tajo con una deformación mínima, sin inducir prácticamente tensiones sobre el techo de la galería.

Dentro de esta línea de utilización de los métodos más modernos de sostenimientos, y conocidas y las propiedades resistentes y de deformación de la madera de uso más frecuente en la mina, es de interés el estudiar los comportamientos tenso-deformacionales de otros tipos de materiales, como comienzo de una línea de investigación que pueda culminarse un día con la comercialización de otros elementos.

El problema principal que se plantea en la utilización de este tipo de elementos es que su tipo de rotura es frágil, esto es, pasado el punto de rotura, la pieza se convierte en un mecanismo con deformaciones muy grandes para tensiones relativamente bajas. Este comportamiento no es admisible en minería, en que existe siempre, en cualquier momento, la posibilidad de trabajar por encima del punto de rotura.

Análogamente al caso de la madera, un elemento alternativo para su uso en minería deberá cumplir las siguientes condiciones:

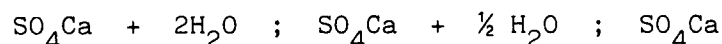
- Resistencia adecuada con una respuesta de ésta acorde con la evolución de sollicitaciones a que se va a ver sometida.
- Rotura no frágil, pasando por una fase elastoplástica y plástica con un nivel de deformaciones alto.
- Fácil manipulación y maniobrabilidad en mina.
- Ausencia de polvo, toxicidad, etc.

Seguidamente se analiza el comportamiento tenso-deformacional de la anhidrita y de prefabricados de hormigón armado.

6.1. ANHIDRITAS

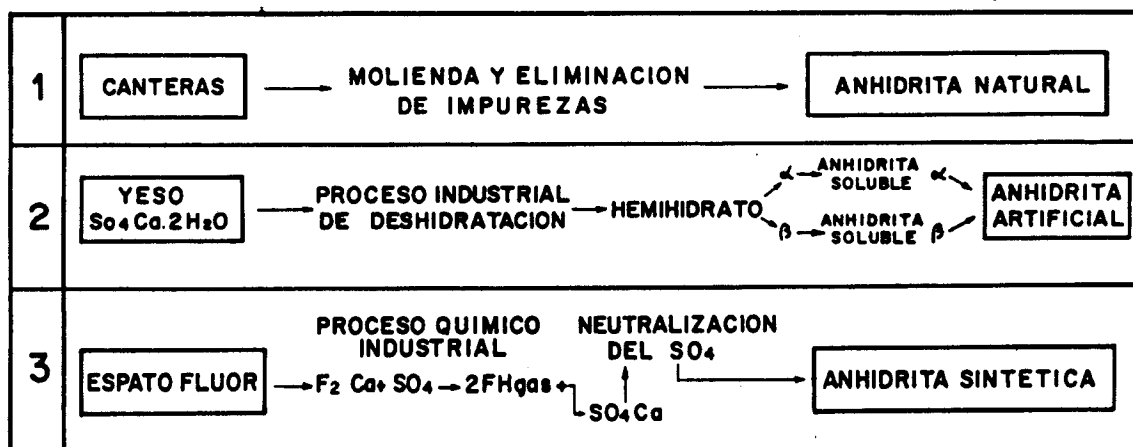
6.1.1. Naturaleza y tipos comerciales.

Son tres las formas principales que se conocen del sistema binario: sulfato cálcico - agua:



El SO_4Ca , si está el solo en disolución cristaliza en forma de yeso a temperaturas por debajo de los 65°C , y solo con valores superiores lo hace en forma de anhidrita. En presencia de ClNa , la formación de anhidrita tiene lugar a los 25°C y si además existe Cl_2Mg , el depósito de anhidrita tiene lugar a cualquier temperatura.

Son tres los tipos de anhidrita conocidos (Cuadro N° 11).



CUADRO N° 11 TIPOS COMERCIALES DE ANHIDRITA

- 1.- La anhidrita natural.
- 2.- La anhidrita artificial.
- 3.- La anhidrita sintética.

Independientemente de su origen y como cualquier aglomerante, los factores a analizar son su curva de endurecimiento, tiempo de fraguado, poder glomerante, etc.

6.1.2. Características mecánicas.

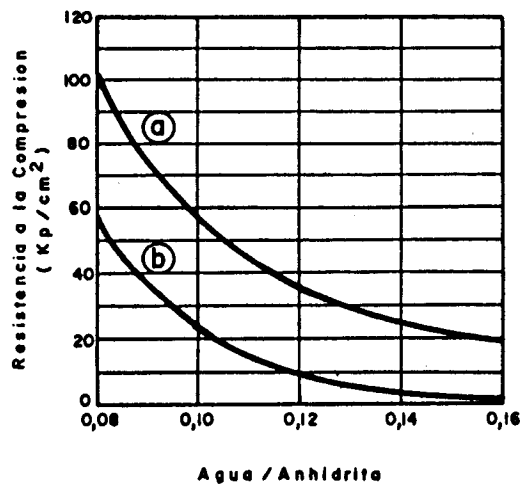
El producto utilizado como anhidrita natural, es preciso molerlo previamente hasta unos tamaños granulométricos comprendidos entre 0 y 6 mm, con un mínimo del 30% de finos por debajo del tamiz: 0,2 mm.

En su proceso de endurecimiento interviene de forma decisiva el activador, que dependiendo de su porcentaje aumenta o disminuye la velocidad de reacción entre la anhidrita y el agua, por consiguiente, cataliza la formación de enlaces entre las moléculas de agua y de sulfato. La hidratación posterior del componente en presencia de agua suficiente, da lugar al crecimiento en tamaño, reticulación y entrecruzamiento de los cristales formados, con repercusión en la resistencia a compresión a conseguir.

Los valores de resistencia que se han obtenido mediante ensayos, por Genthe (1970), a las 24 horas de tiempo de fraguado, empleado como activador una mezcla de 1,8 partes de sulfato ferroso hidratado y una parte de sulfato potásico, se han recogido en la Figura N° 23. De su observación hay que destacar los siguientes puntos:

La anhidrita, como en todos los materiales de fraguados hidráulico, la resistencia a compresión disminuye con la relación agua/sólido, tan pronto como se sobrepasa la cantidad de agua necesaria para la hidratación completa. En los ensayos llevados a cabo por este autor, se han obtenido valores de resistencia en torno a los 105 Kp/cm² como media, para valores de 0,08 de la relación: agua - anhidrita. La resistencia a la edad de 24 horas variaba entre 130 y 150 Kp/cm².

Los valores máximos de resistencia son función de la superficie específica que presente el sólido y por tanto, de los diámetros de partícula, disminuyendo ésta de aumentar el tamaño del grano.



Ⓐ - 22°C y 40% de humedad relativa

Ⓑ - 31,5°C y 74% de humedad relativa

FIGURA N° 3 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA ANHIDRITA NATURAL EN FUNCION DEL VALOR AGUA/ANHIDRITA A UNA EDAD DE 24 HORAS.
(FUENTE: GENTHE, M. - GLUCKAUF, 106)

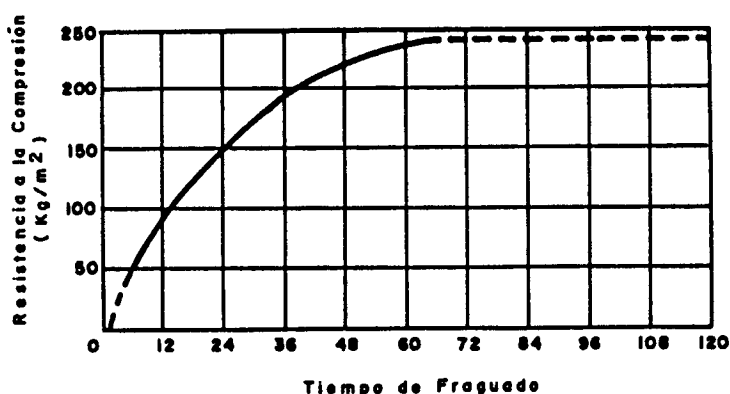
El mejor valor de la relación agua/anhidrita natural obtenido en estos ensayos es de 0,08, pero este valor no es posible llevarlo a la práctica, ya que si la mezcla se aplica neumáticamente, la experiencia que se tiene al respecto, indica que se tienen dificultades, si no se alcanza una relación agua/sólido adecuada para el transporte de fluidos de estas características.

La evolución de la resistencia a compresión con el tiempo está representada en la Figura N° 24, en donde puede observarse que se superan los 100 Kp/cm² de resistencia a compresión en probetas en el entorno de las 14 h.

Así mismo, el consumo de anhidrita natural depende de la relación agua-sólido, lo cual es típico en los materiales de fraguado hidráulico (Figura N° 25).

Otro producto de fraguado hidráulico, utilizado en minería subterránea es la anhidrita sintética depositada en el reactor como subproducto del proceso de obtención industrial del ácido fluorhídrico a partir del espato flúor y el ácido sulfúrico.

La anhidrita sintética, también necesita de un acelerante de fraguado, de especial comportamiento de cara a conseguir un adecuado transporte y bombeo de la mezcla y una resistencia inicial lo más alta posible, en el lugar de aplicación. El tipo de acelerante utilizado por Genthe en sus ensayos estaba compuesto por sulfato ferroso hidratado (F_e SO₄ · 7H₂O) y sulfato potásico (K₂ SO₄) en la relación 1:1.

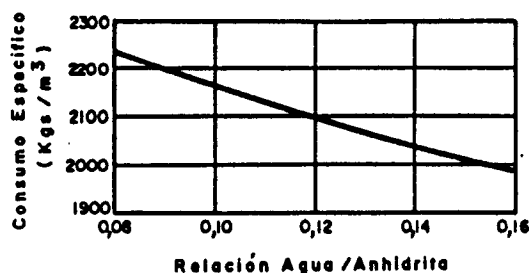


Características de la anhidrita natural :

- Porcentaje del 34% del tamaño < 0,2 mm
- Tamaño máximo: 6 mm
- Relación agua/anhidrita = 0,12

FIGURA N° 24 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA ANHIDRITA NATURAL EN FUNCION DEL TIEMPO DE FRAGUADO.

(FUENTE: GENTHE, M. - GLUCKAUF, 106)



Características de la anhidrita natural

- Tamaño máximo = 6 mm
- Porcentaje > 30% del tamaño < 0,2 mm.

FIGURA N° 25 CONSUMO ESPECIFICO EN Kg/m³ DE ANHIDRITA NATURAL PARA DIFERENTES VALORES DE LA RELACION AGUA/ANHIDRITA.

(FUENTE: GENTHE, M. - GLUCKAUF, 106)

La Figura N° 26 recoge la evolución de resistencias a compresión de la anhidrita sintética, en condiciones de fraguado de temperatura y humedad del aire normales, sobre probetas de 24 horas de edad. De la misma, es deducible que, relaciones de agua/anhidrita en el entorno de 0,30, alcanzan unas 130 Kp/cm² de resistencia a la compresión. En el porceso de optimización de este tipo de mortero se llegó a considerar como relación más favorable la de 0,36; consiguiéndose los 150 Kp/cm² a los 3 días aproximadamente.

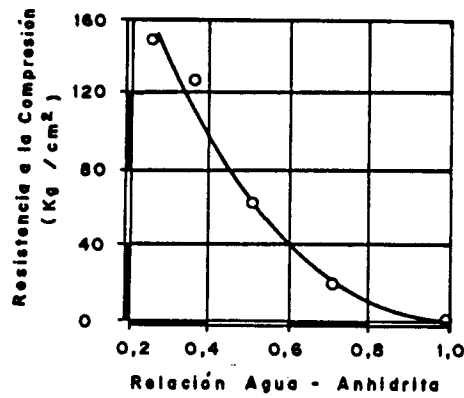


FIGURA N° 26 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA ANHIDRITA SINTETICA EN FUNCION DE LA RELACION AGUA ANHIDRITA A LAS 24 H.
(FUENTE: GENTHE, M. - GLUCKAUF, 106)

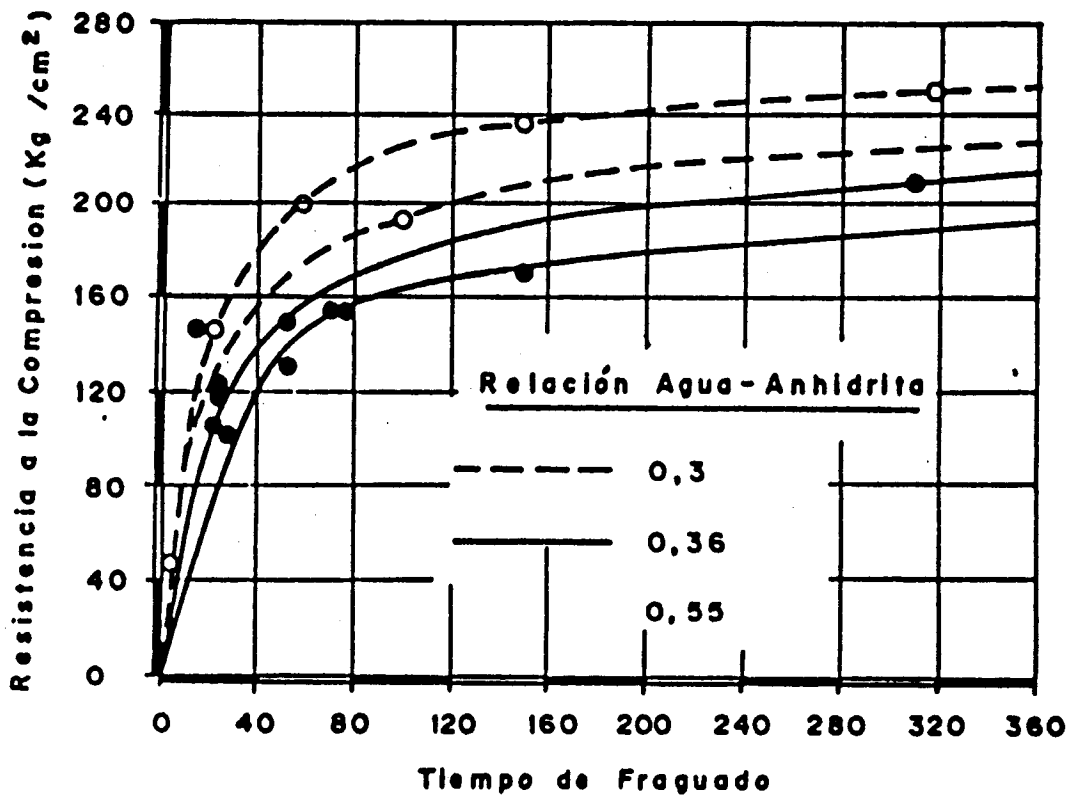


FIGURA N° 27 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA ANHIDRITA SINTETICA EN FUNCION DEL TIEMPO DE FRAGUADO.
(FUENTE: GENTHE, M. - GLUCKAUF, 106)

El consumo específico de anhidrita sintética, se ve noblemente afectado, si comparamos los gráficos de las Figuras N° 25 y 28 de donde para conseguir una determinada resistencia a compresión, el consumo específico de anhidrita sintética es menor que el de anhidrita natural para una relación agua/anhidrita determinada.

Ello es lógico puesto que en la anhidrita sintética se va a tamaños de molienda más finos.

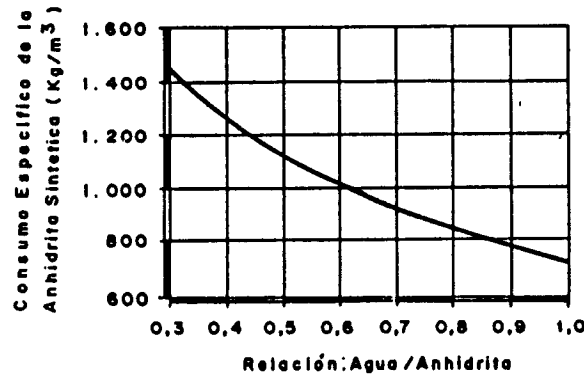


FIGURA N° 28 CONSUMO ESPECIFICO EN Kg/cm³ DE ANHIDRITA SINTETICA PARA DIFERENTES VALORES DE LA RELACION AGUA/ANHIDRITA.
(FUENTE: GENTHE, M. - GLUCKAUF, 106)

Dentro del ámbito de este estudio se han llevado a efecto pruebas de resistencia a compresión sobre probetas de anhidrita sintética, obtenida en España también como subproducto, con la granulometría reflejada en la Figura N° 29. Se utilizó como activador el sulfato potásico en la proporción: 10 gr SO₄K₂ / 1 Kg SO₄Ca en ambas mezclas, modificándose sin embargo la relación agua/anhidrita, que en un caso fue del 30% y en otro del 25%. La Figura N° 30 recoge la evolución de resistencias en el tiempo; en ella se observa que las resistencias máximas obtenidas son del orden de 45-60 Kg/cm a las 24 h. Estos valores entran dentro del rango de aceptabilidad para su empleo en mina, con las actuales velocidades de avance de talleres.

ANALISIS GRANULOMETRICO

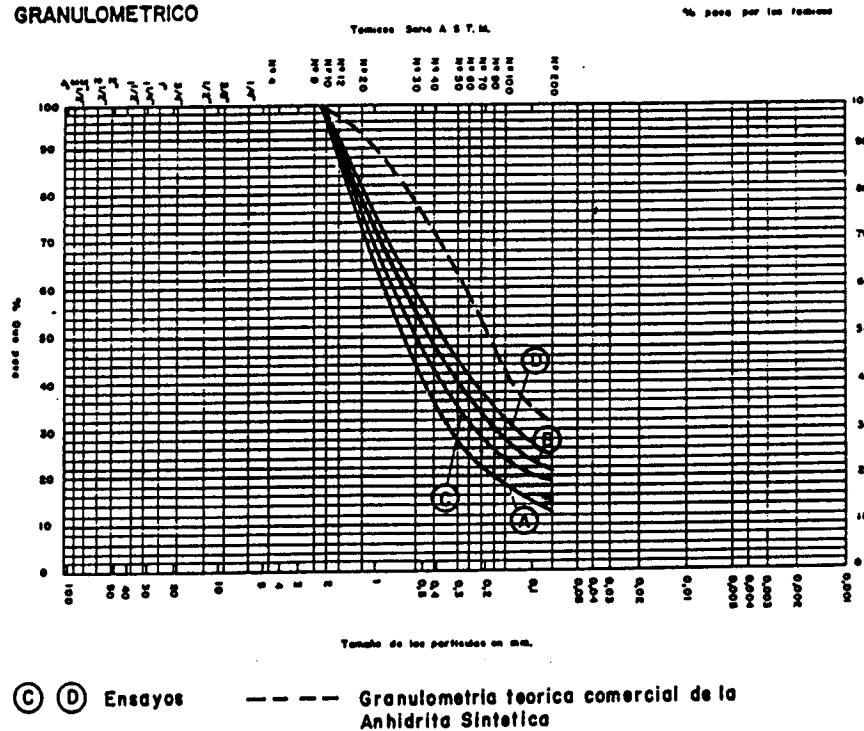


FIGURA N° 29 HUSO GRANULOMETRICO DE LA ANHIDRITA

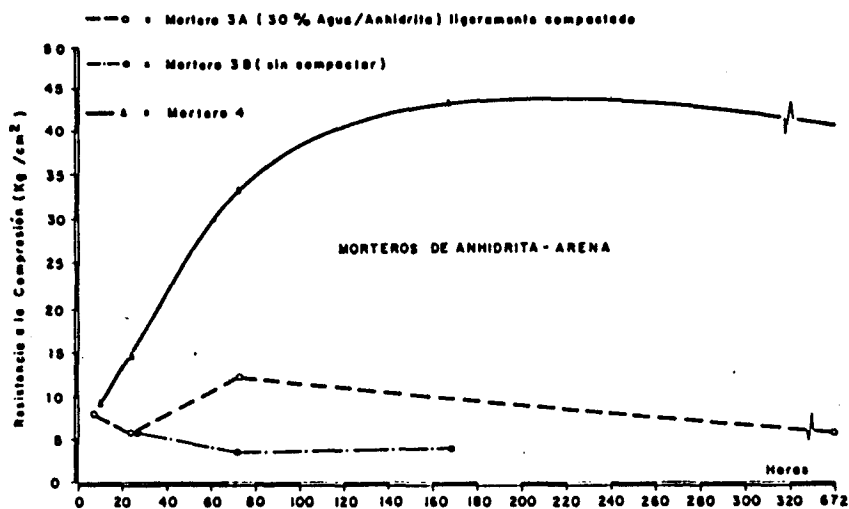
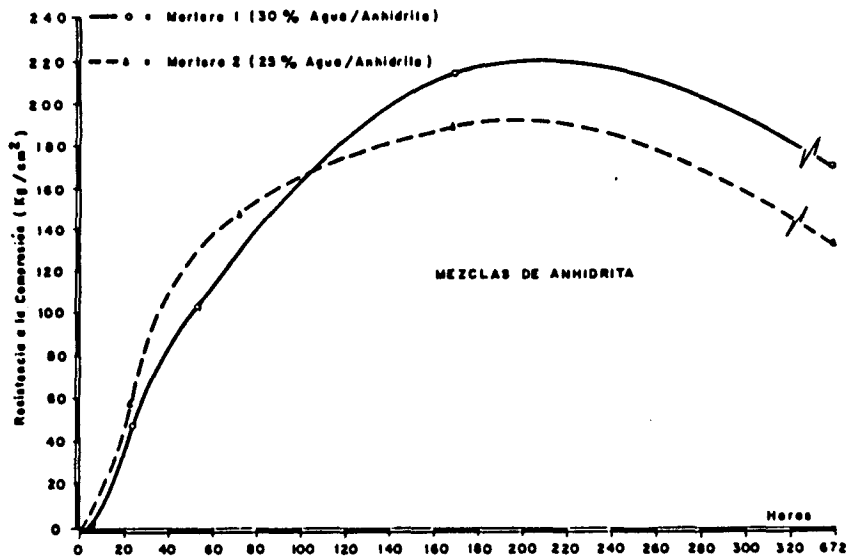


FIGURA N° 30 CURVAS DE ENDURECIMIENTO OBTENIDAS

Tratando de abaratar costes, se ha estudiado la realización de morteros arena/anhidrita, manteniendo el porcentaje de activador y la relación agua/anhidrita óptima de trabajo en laboratorio. La Figura N° 30 resume asimismo los resultados alcanzados, y aunque pueden mejorarse, se observa que las resistencias disminuyen notablemente, no resultando aconsejable, por el momento, a pesar de su bajo coste el recurrir a este tipo de morteros arena-anhidrita.

De otra parte, hay que señalar que debido a la procedencia de esta anhidrita sintética, si no se controla su neutralización, podrían aparecer señales de su actividad en las personas encargadas de su manipulación y en los elementos metálicos próximos.

En cuanto a las posibilidades de transporte de materiales de fraguado hidráulico, a su lugar de aplicación concretamente existen los procedimientos neumáticos y los hidromecánicos, siendo estos últimos los que mejores rendimientos alcanzan, según las experiencias recogidas. En ellos, la producción de polvo es considerablemente menor, no consiguiéndose, sin embargo, eliminar totalmente, puesto que demandaría una alta adición de agua, lo que conduce a dificultades de fraguado "in situ".

Los parámetros críticos de transporte, como longitudes, diámetros, estaciones de bombeo, pendientes, etc, habría que estudiarlos para cada caso en concreto, quedando fuera del objetivo de este estudio, su consideración.

Por último, se preparó un mortero con cemento Portland-350 y una arena calibrada; en la proporción 1:3, con el que se fabricaron distintas probetas para su rotura a los 7 días. El Cuadro N° 12 resume las características mecánicas de las pruebas efectuadas. (Figura N° 31).

MUESTREO	DEFORMACION (%)	RESISTENCIA PARA D = 2%	DEFORMACION ROTURA (%)	RESISTENCIA PARA D ROTURA
P - 1	2	92 Kg/cm ²	3	111,84 Kg/cm ²
P - 2	2	77 Kg/cm ²	3	105,48 Kg/cm ²
P - 3	2	113 Kg/cm ²	2,75	123,30 Kg/cm ²

CUADRO N° 12 RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE MORTEROS FABRICADOS CON CEMENTO PORTLAND-350/ARENA

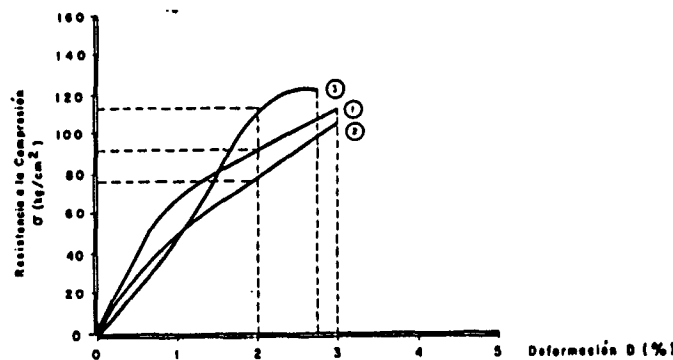


FIGURA N° 31 CURVAS TENSION-DEFORMACION DE MORTEROS FABRICADOS CON CEMENTO PORTLAND-350 Y ARENA

Apoyándonos en todos los ensayos llevados a cabo sobre elementos alternativos: anhidritas, morteros: arena-anhidrita y morteros: cemento-arenas; puede concluirse que para deformaciones superiores a las indicadas en el Cuadro N° 13, estos materiales de estas características no resistirían, lo cual habría que reforzar la entibación inicial; al no cumplirse las condiciones de una rotura plástica.

Para ello, se tomarían las siguientes medidas:

- 1.- Mayoración del coeficiente de seguridad. (Así por ejemplo, en el diseño de tabiques y pilas de anhidrita, de la Figura N° 32, se ha tomado el valor de: 6).
- 2.- Una sistemática de control de deformaciones, de tal modo que cuando se alcance la deformación de rotura, pueda reforzarse la entibación de la unión tajo-galería.

Desde una perspectiva estructural se ha estudiado la posibilidad de sustituir las llaves de madera de protección de galería por un sostenimiento rígido como sería un tabique continuo de anchura "a" de anhidrita sintética, para ello se ha partido de los siguientes datos básicos:

- Tensión admisible de la anhidrita: $\approx 170 \text{ Kg/cm}^2$.
- Coeficiente de seguridad: 6
- Curvas tenso-deformacionales de las llaves de madera. (Figura N° 21).

El resultado del cálculo estructural obtenido se recoge en la Figura N° 32 donde, por ejemplo: una llave de 4 puntos de cruce por metro, de pino gallego a la humedad de 128,2%, es equivalente en cuanto a capacidad portante a un tabique corrido de anhidrita de 0,20 m. de ancho.

De igual modo, en la misma Figura, se indica otra solución operativa, como es la disposición de pilas de anhidrita de 1 m², y así para el mismo caso anterior la separación entre pilas sería de 5 m.

MATERIALES ALTERNATIVOS		DEFORMACIONES LIMITES ELASTICAS
ANHIDRITAS		0,50%
MORTEROS	ANHIDRITAS / ARENAS	2%
	CEMENTO P-350 / ARENAS	2%

CUADRO N° 13 DEFORMACIONES LIMITES ELASTICAS DE OTROS MATERIALES ALTERNATIVOS SEGUN ENSAYOS

6.2. ELEMENTOS PREFABRICADOS.

Con la base de un cemento como aglomerante, se ha estudiado las posibilidades de prefabricados de hormigón armado que cumplan las condiciones anteriores.

La resistencia a compresión alcanzable en un mortero y su curva de evolución es hoy día fácilmente adaptable con los acelerantes existentes en el mercado y la buena calidad de los cementos utilizables. Por otro lado, si los elementos se prefabricaran fuera de las zonas de "influencia" del tajo, podrían colocarse en sus lugares de ubicación; una vez alcanzada su resistencia final.

Puesto que los hormigones presentan rotura frágil, el conseguir una capacidad resistente una vez superada la rotura del hormigón se ha confiado a una armadura que a modo de zuncho se ha dispuesto en las piezas.

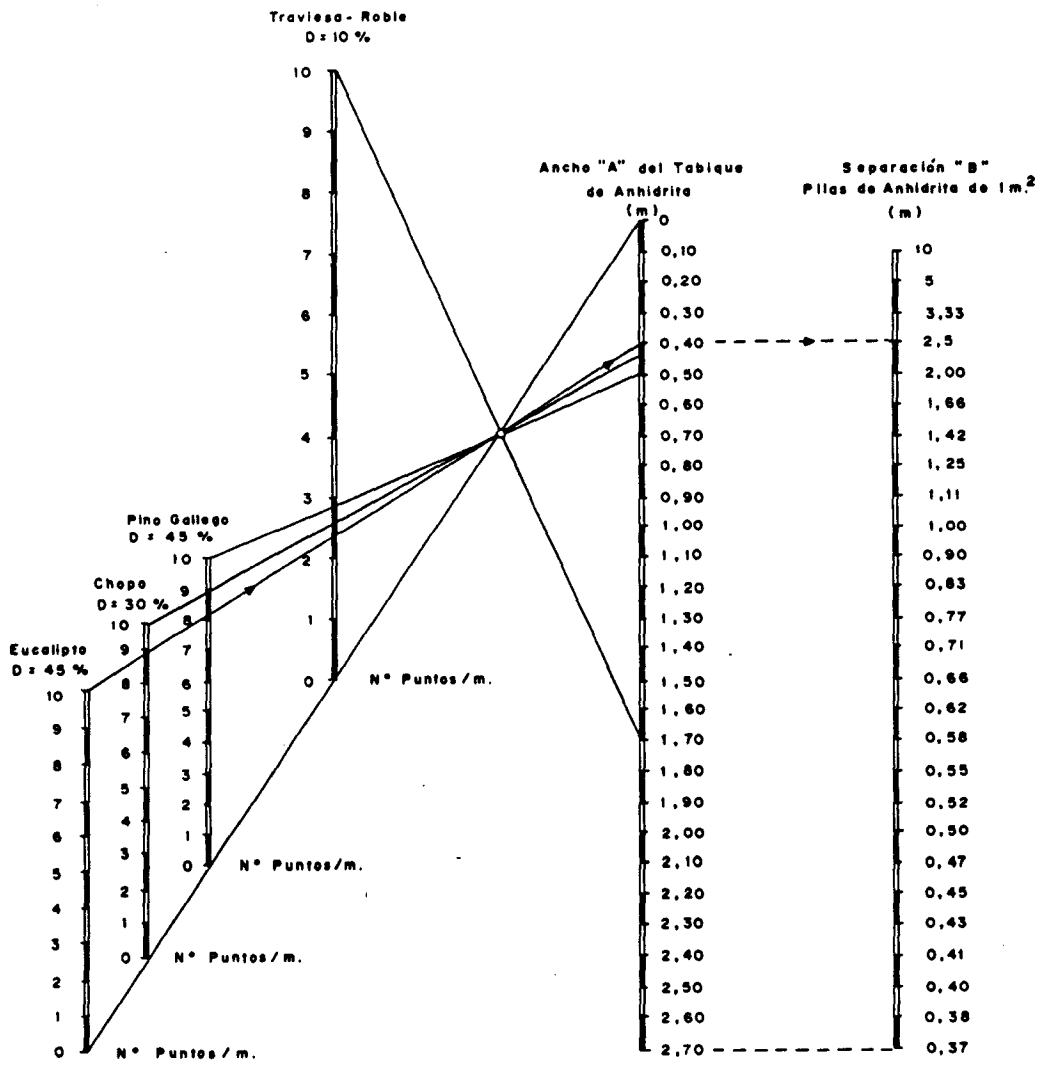
Las manipulación y la maniobrabilidad en la Mina, está asegurada en el caso de elementos prefabricados y podría asimismo incorporarse al laboreo en el caso de hormigonado "in situ". La ausencia de polvo, toxicidad, etc, se tienen garantizados en los prefabricados, y se cumplen prácticamente en el hormigonado "in situ"; por tanto independientemente de su coste, el factor más crítico para el empleo de estos elementos en la minería, es conseguir un cierto grado de plasticidad en la rotura, y en mayor ventaja es la posibilidad de soportar niveles de tensiones mucho mayores que en los elementos tradicionales, con un nivel de deformación mucho más bajo.

El estudio llevado a cabo, ha tenido su enfoque de acuerdo con todo lo anterior, analizándose las variaciones de las resistencias residuales correspondientes a las armaduras en función de su cuantía.

Para ello, se han estudiado en tres bloques de 20 cm x 20 cm x 20 cm, fabricados con mortero de cemento Portland 350 y una arena calibrada, el armado necesario para que una vez acaecida la rotura del hormigón, el acero zunche el elemento roto y suavice las pendientes en la parte final de la curva de rotura frágil, asimilándola a un tipo de rotura más plástica.

Se ha tomado como resistencia residual la correspondiente al 5% de deformación, con lo que en caso de producirse mayores niveles de deformación, debería reforzarse la entibación. La Figura N° 33 recoge las curvas tenso-deformacionales obtenidas para las distintas cuantías de acero utilizadas.

En la Figura N° 34 se ha representado la relación entre la tensión pico y la resistencia residual anteriormente definida en función de la cuantía; como puede verse esta curva es de tipo exponencial con dos asíntotas que



D = Deformación (%)

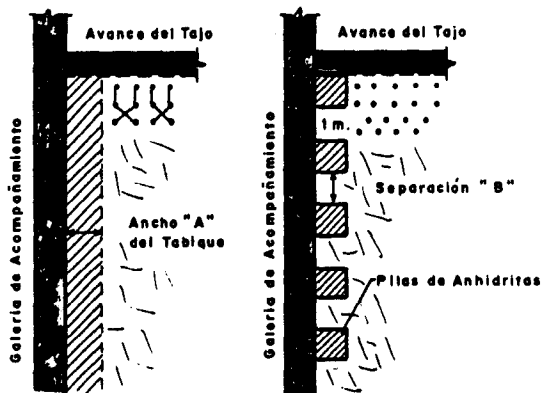


FIGURA N° 32 DIMENSIONES DE UN TABIQUE CONTINUO DE ANHIDRITA O DE LA DISPOSICION DE PILAS DEL MISMO MATERIAL A PARTIR DEL N° PUNTOS/METRO DE APOYO EN LLAVES DE MADERA.

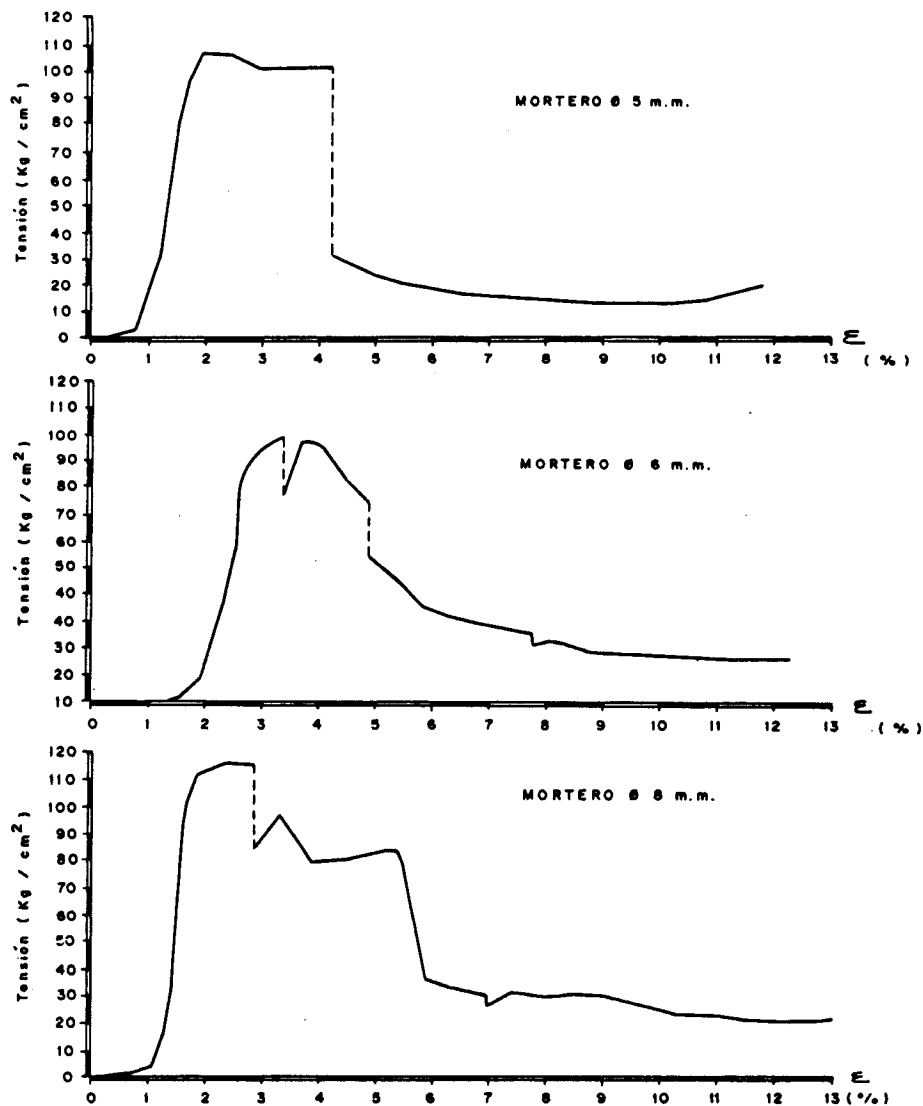


FIGURA N° 32 CURVAS TENSION DEFORMACION PARA DISTINTAS CUANTIAS DE ACERO UTILIZADAS.

corresponderían: una a cuantías inferiores a 80 kg acero por m³ de hormigón, con lo que no se obtendría ninguna mejora en las resistencias después de la rotura del hormigón y la otra, que correspondería a una relación tensión de pico (tp)/ tensión residual (tr) de aproximadamente: 1,40, por tanto con esta configuración de prefabricados deben utilizarse cuantías superiores a 150 Kg acero por m³ de hormigón, con lo que la relación tp/tr sería menor de 1,50, para hormigones de resistencia característica de 113 Kg/cm².

La tensión de cálculo del sostenimiento, quedaría por tanto del lado de la seguridad, considerando el valor residual y teniendo un factor de aviso en la mina fácilmente perceptible como sería la rotura y descascarillamiento el hormigón que recubre las armaduras de los prefabricados.

Indudablemente, los valores cuantificados solo son aplicables a este tipo de prefabricados, con esta forma, tipo de zunchado, resistencia de hormigón, etc. Pueden dimensionarse elementos distintos, como losetas armadas colocadas en forma de pila, en las que con cuantías menores podrían obtenerse valores de la relación tp/tr igualmente aceptables, o bien morteros armados con fibras de acero.

Un estudio de esta naturaleza quedaría fuera del objetivo del presente trabajo. Pero es muy interesante el constatar como con prefabricados de hormigón pueden obtenerse esquemas de fortificaciones que cumplan todas las condiciones impuestas a una entibación minera, en forma mucho más aceptable que la de otros elementos que se vienen utilizando como: maderas, anhidritas, etc.

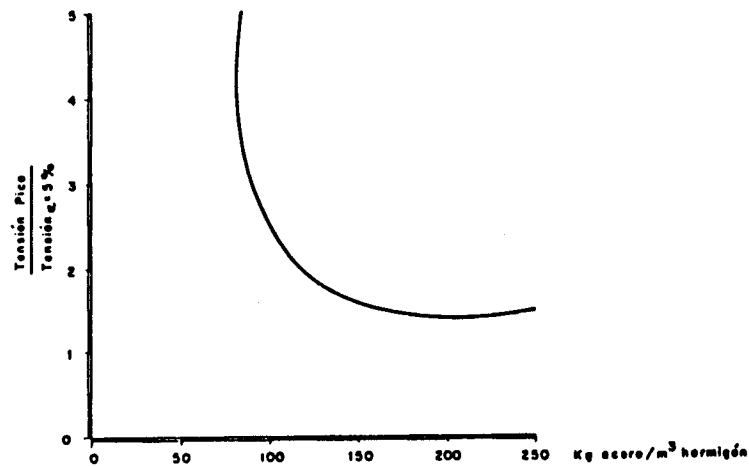


FIGURA N° 34 VARIACION DEL INDICE: TENSION PICO/TENSION RESIDUAL AL 5% DE DEFORMACION CON LA CUANTIA DE KG DE ACERO POR M³ DE HORMIGON.

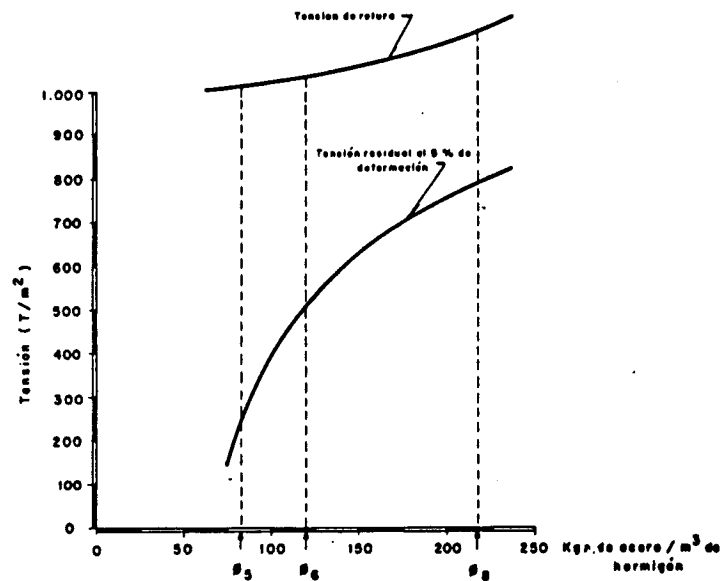


FIGURA N° 35 VARIACION DE LA TENSION CON LA CUANTIA DE KG DE ACERO/M³ DE HORMIGON.

Puede argumentarse, que su coste es prohibitivo si se comparan únicamente los costes del elemento-pila aislado de sujeción de la unión tajo-galería, ahora bien, el rigidizar esta unión independizando las tensiones en la galería de las introducidas por el colapso del techo del taller, en el caso de métodos de explotación por tajo largo con hundimiento, conduce indudablemente a grandes ahorros en el sostenimiento de la propia galería, pudiendo llegarse en algún caso a su eliminación.

El estudio económico comparativo para asimilar o rechazar estos nuevos materiales debe realizarse, comparando los costes de sostenimiento de galería más el de fortificación con llaves, según los distintos materiales que puedan utilizarse.

7.- AGRADECIMIENTOS.

Por último, los autores quieren agradecer la información y las facilidades prestadas por todas las empresas mineras y fabricantes a las que les fue requerida su colaboración. Dichas entidades, así como los comentarios y experiencias aportadas por diversos especialistas han hecho posible que este trabajo se adapte en gran medida

a las necesidades reales de servicio y conocimiento de los Técnicos responsables que puedan utilizar el presente manual.

No se incluyen en este apartado dichas entidades a las que los autores reiteran su agradecimiento. No obstante en el proyecto del IGME denominado INVESTIGACION PARA DEFINIR LAS CARACTERISTICAS GEOMECAICAS DE LOS MATERIALES DE PROTECCION Y SOSTENIMIENTO DE LAS GALERIAS EN CARBON DESDE UN PUNTO DE VISTA GEOMECAICO que ha servido de base para esta edición, se hace claramente referencia a cada una de ellas.

8.- BIBLIOGRAFIA.

- ARREDONDO, F.: "Estudio de Materiales". (1967)
- AUXQUIMIA, S.A.. 1/8 Notas: "Anhidrita sintética", "Procedencia de la Anhidrita Sintética, Características físicas del producto", "La Anhidrita Natural", "El fraguado de la anhidrita y de otros sulfatos de calcio", "Los procesos mineros para la aplicación de la anhidrita".
- AYALA, F.J.; RODRIGUEZ ORTIZ, J.M.; SANZ CONTRERAS, J.L.:
"Problemas geomecánicos asociados a las entibaciones de los tajos de carbón en El Bierzo". VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Barcelona. (1984)
- BIRKNER, L.: "L'emploi du bois impregné dans les mines de Suède". L'Industrie Minerale.
- BORISOV, S., et al. : "Labores Mineras". (1976).
- CASTAÑON ALONSO, A.: "Entibación Metálica de galerías". (1983).
- CELADA, B.; LUQUE, V.; RAMBAUD, C. et al.: "Recursos de carbón en España. Perspectivas de la mecanización de las capas inclinadas". (1981).
- CIORDIA, L.: "Revisión de los equipos utilizables y las tendencias en el laboreo de carbón en frente largo". (1980).
- CUADRA IRIZAR, L.: "Laboreo de Minas". (1974).
- CHOQUET P.: These de Docteur Ingenieur. Ecole National Supérieure des Mines. Paris. (1981).
- DE LA MAZA Y SAINZ DE LA FUENTE, J.L.: "El creosotado de la madera para el ferrocarril y su aplicación en Renfe".
- DOCUMENT. S.I.M.-B-2: "Sostenimiento en galerías".
- DOCUMENT. S.I.M.-B-3: "Sostenimiento en talleres de las hulleras".
- DUMONT, J.: "Le marche des bois de Mine". L'Industrie Minerale.
- EMPOUT, M.: "La Mise en oeuvre des bois". L'Industrie Minerale.
- ESPINAL, J.; CASTRO, G.; LORENZO, J.: "Explotación de capas de carbón con potencia media". ENCASUR. (1983).
- GENTHE, M.: "Tabiques de acompañamiento de galerías de explotación de productos de fraguado hidráulico". Gluckauf. (1970).
- GUTIERREZ, A. y PLAZA, F.: "Características físico-mecánicas de las maderas españolas". Ministerio de Agricultura. (1967).
- HAARMANN, R. y WAGNER, E.: "Mejoría de la firmeza de las galerías de explotación por un tabique de acompañamiento de anhidrita". Gluckauf. (1970).
- HARRY PARKER, M.: "Diseño simplificado de estructuras de madera". (1972).
- HEINRICH, F.: "Experiencias en la minería con tabiques de acompañamiento de galerías de explotación con anhidrita y cemento rápido de tabiques". Gluckauf. (1971).
- HEISE, F. et al.: "Tratado de Laboreo de Minas".
- ICONA: "Las coníferas en el primer Inventario Forestal Nacional". (1979).
- ICONA: "Inventario Forestal Nacional". (1975).
- ICONA: "Las frondosas en el primer Inventario Forstal Nacional". (1980).
- IGME: "Criterios Geomecánicos para la implantación de labores mineras en las cuencas del carbón de Fabero-Matarrosa y Alto Bierzo - Bierzo Oriental. (1982).
- IGME: "Estudio Básico preliminar para la determinación de la influencia de las características geomecánicas de los hastiales en los tajos de explotación del carbón". (1983)
- IGME: "Investigación para definir las características de los materiales de protección y sostenimiento de galerías en carbón desde un punto de vista geomecánico".

MEMORIA Y ANEJOS. (1986).

- JACOBI, O.: "Praxis der Gebirgsbeherrschung". Essen. (1981).
- JIMENEZ MONTOYA, J. et al: "Hormigón Armado". G. Gili.
- JORNADAS DE HUNOSA: 3 Tomos.- OVIEDO (Asturias - 1978-80).
- KRAEMER, G.: "la duración de las maderas sumergidas en el mar y el aumento de su resistencia por conservantes". DYNA. (1961).
- KRAEMER KOELLER, G.: "Compendio de la conservación de maderas". (1958).
- KRAEMER, G.: "El cálculo en la impregnación de madera". (1958).
- MAÑA, F.: "Patología de las cimentaciones". Editorial Blume.
- M.O.P.U.: "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado". EH-82 (1984).
- RAMIREZ, P.; AYALA, F.: et al.: "Control de estratos en tajos subterráneos de la minería del carbón". IGME (1985).
- ROIDOT, M.: "Un exemple de transport des bois dans les puits et au fond aux sieges de Merlebach et de Cuvelette". L'Industrie Minerale.
- SCHWARTZ, B., et al.: "Previsión des convergences dans les voies influencées par les tailles qu'elles desservent". L'Industrie Minerale.
- SIMPOSIO SOBRE PROPECCION DEL CARBON.- OVIEDO (Asturias 1982).
- UNE - 56-528-78 a 56-540-78: "Características físico-mecánicas de la madera".
- VALLADARES, A.: "Conocimientos básicos forestales". Ministerio de Agricultura. (1981).
- VENET, J.: "Etude morphologique, physique et mecanique des bois de mine". L'Industrie Minerale.
- VERSMEE, P. et ALLIOT, H.: "Agents de destruction et traitements de protection des bois de mine". L'Industrie Minerale.