

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA UTILIZACION DE  
RELLENOS CONSOLIDABLES EN LA  
MINERIA DEL CARBON

COMISION DEL P.E.N.  
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

JULIO, 1983

empresa nacional adaro de  
investigaciones mineras, s.a.  
enadimsa

50209

|         |  |
|---------|--|
| TITULO  | ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA UTILIZACION DE<br>RELLENOS CONSOLIDABLES EN LA<br>MINERIA DEL CARBON |
| CLIENTE | COMISION DEL P.E.N.<br>MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA   |
| FECHA   | JULIO, 1983  |

Referencia : P8-21-002

Departamento : Minería



## INDICE

|   |    |
|---|----|
| 1.- ANTECEDENTES.....   | 2  |
| 2.- JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....                           | 4  |
| 2.1 Necesidad y utilidad del proyecto.....                    | 8  |
| 2.2 Justificación dentrol de los planes<br>nacionales.....    | 10 |
| 2.3 Resultados que se esperan del proyecto.....               | 11 |
| 3.- DEFINICION DEL PROYECTO.....                              | 13 |
| 3.1 Objetivos.....  | 13 |
| 3.2 Plan de trabajo.....                                      | 14 |
| 3.2.1 Determinación de la metodología de colo-<br>cación..... | 14 |
| 3.2.2 Análisis de resultados.....                             | 17 |
| 3.3 Area del estudio.....                                     | 17 |
| 4.- PROGRAMA DE EJECUCION.....                                | 19 |
| 5.- PRESUPUESTO.....  | 20 |
| 5.1 Ingeniería.....   | 21 |
| 5.2 Gastos en mina.....                                       | 22 |
| 5.3 Presupuesto total.....                                    | 22 |

ANEJO I

---

1.- ANTECEDENTES.

El Plan Energético Nacional preveía que el carbón ocupara un papel muy importante en la estructura del abastecimiento energético de nuestro país. Estas previsiones se han cumplido y en la revisión que se está efectuando del P.E.N. parece que el carbón continuará ocupando un papel muy relevante como suministrador de energía tratando de que se cumpla el objetivo de disminuir al máximo la dependencia energética del exterior.

Sin embargo la importancia indudable que debe tener el carbón debe ser compatible con unos costes de producción que estén en relación directa con los precios del mercado industrial.

Esto, teniendo en cuenta los pobres rendimientos de los yacimientos españoles y considerando las grandes dificultades geológicas que ofrecen nuestros yacimientos, significa que debe hacerse un importante esfuerzo para incrementar el grado de mecanización de nuestras explotaciones.

El riesgo que afrontan las inversiones destinadas a este fin y la aplicación generalizada que se debe pretender con las investigaciones dirigidas a desarrollar nuevos sistemas de laboreo en la minería del carbón, implican la conveniencia de actuación e impulsión de estos estudios por el Estado.

En este orden de ideas este proyecto se encuadra dentro de la línea seguida por la Administración, al amparo del Plan Energético Nacional, en materia de desarrollo tecnológico de la minería del carbón y dentro del Proyecto de "Desarrollo de nuevos métodos de labores en pendiente o verticales".

2.- JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

De acuerdo con los datos contenidos en el Inventario de Recursos de Carbón en España, por lo que se refiere a la Hulla y a la Antracita, se puede establecer la clasificación siguiente en función de las pendientes de las capas.

| PENDIENTE DE LAS CAPAS | RECURSOS ESTIMADOS (Mt) | % RESPECTO AL TOTAL |
|------------------------|-------------------------|---------------------|
| 0 - 35°                | 917,0                   | 40                  |
| 35° - 60°              | 803,0                   | 35                  |
| 60° - 90°              | 575,9                   | 25                  |
| TOTAL                  | 2.296,8                 | 100                 |

De los datos anteriores lo que resulta más significativo es que el 60% de los recursos corresponden a capas con una inclinación superior a 35°.

Este tipo de capas, aparte de España y la URSS, sólo se explota en contadas excepciones. Prácticamente se abandonaron los yacimientos de tales características cuando se desencadenó la crisis del carbón, y hoy se mira hacia ellas con posibilidades de reemprender su explotación si se desarrollan y ponen a punto sistemas que se adapten a tales pendientes, y se entrena personal especializado para dichas capas.

En el Reino Unido y Bélgica no se arranca actualmente carbón en capas con más de 45° de pendiente; en Francia se hace sólo en la Cuenca de Lorena en capas potentes, regulares y de carbón muy duro; y en la República Federal ha quedado la producción de la cuenca del Rhur, en pendientes de 40-60°, reducida a un 3,4% y, en 60 - 90°, a un 0,7% del total de 70 Mt/año.

En Europa Oriental, Polonia y la URSS existen explotaciones en capas verticales y en todas las potencias, pero la información que se recibe no es tan completa y los intercambios comerciales y tecnológicos son muy lentos. Por otro lado, la productividad no es en ellos un aspecto prioritario, como lo es en países de economía libre.

En Alemania se estiman las reservas sobre capas inclinadas y verticales en más de 1.000 Mt. En concreto, en el Rhur, sobre las actuales plantas de explotación, con pendientes superiores a  $23^\circ$ , tienen unas reservas de 176 Mt. de carbón de cok con todas las labores de acceso, como pozos y transversales, ya hechas y en servicio.

Dejando aparte las dificultades, estas capas también presentan ventajas notables, como son: evacuación del carbón por gravedad, así como colocación del relleno por simple vertido y menor presión de los terrenos en sentido normal a los hastiales.

La explotación de las capas muy inclinadas de carbón presenta el difícil problema de controlar adecuadamente los hastiales en la zona deshullada. La solución actualmente adoptada consiste en rellenar el hueco creado con estériles procedentes de las labores de preparación o de los lavaderos.

Esta solución, que es operativa en los tajos en los que el arranque se realiza con martillo picador, supone un importante freno en el progreso de los tajos mecanizados ya que, debido a la geometría del tajo y a las débiles características resistentes de los rellenos empleados, es preciso "colgar el relleno" efectuando un laborioso trabajo de posteo que resulta caro y exige personal muy especializado.



Si se dispusiera de un relleno con características resistentes más adecuadas podría facilitarse notablemente el control del techo en los tajos mecanizados y además se reducirían apreciablemente las deformaciones de las galerías de servicio a los tajos, pudiendo disminuirse los gastos de conservación que, en algunos casos, son muy elevados.

Por otro lado la posibilidad de utilizar sistemáticamente los estériles de lavadero como material de relleno supondría una menor proliferación de las escombreras, con la consiguiente mejora económico-social que eso supone.

Además del problema que plantea el relleno del hueco deshullado, en las capas inclinadas existe un problema específico derivado de la gran inclinación de las capas que hace que la disposición típica de las minas españolas de carbón sea la de pozos verticales con plantas situadas entre 50 y 100 m. de distancia entre ellas, de tal forma que el acceso a los talleres de explotación se realiza por galerías en carbón situadas en dos plantas contiguas. Dado que la velocidad de profundización de las explotaciones está próxima a los 10 m/año transcurren entre 5 y 10 años durante la explotación de una planta.

Normalmente la galería en capa que sirve de acceso al nivel inferior de las explotaciones debería poder emplearse como galería de acceso superior cuando se explotara la misma capa en la planta siguiente.

Sin embargo, a pesar de que en las explotaciones sobre capas inclinadas las deformaciones de las galerías son pequeñas, el gran período de tiempo transcurrido desde la explotación de una capa en un nivel y en el nivel inmediatamente inferior, hace que actualmente las galerías se abandonen tras el paso de las explotaciones.

Esta situación exige que cuando se explote en el nivel inmediatamente inferior las galerías sean reconquistadas, que es una operación lenta, costosa y peligrosa, o bien que sea necesario dejar un macizo de carbón con las consiguientes pérdidas de reservas que esto representa.

Por ello resulta muy interesante investigar métodos de conservación de galerías que de una forma económica y segura permitan efectuar la reconquista de las galerías que antes han correspondido a los niveles inferiores del tajo para aprovecharla como nivel de cabeza. Esto podría llevarse a cabo si se dispusiera de un relleno consolidable que asegure la estabilidad de la galería a lo largo del tiempo sin que se produzca la acción negativa de la intemperización.

Por último hay que hacer notar que la posibilidad de disponer de un relleno consolidable podría hacer posible la puesta a punto de nuevos métodos de explotación aplicables a las capas de gran potencia que, aún siendo unas capas susceptibles de dar elevadas producciones y rendimientos, en el momento actual plantean serios problemas en su explotación.

### 2.1 Necesidad y utilidad del proyecto.

Actualmente se producen en la Cuenca Central Asturiana más de 30.000 toneladas brutas de carbón diarias que con un coeficiente medio de relleno de  $0,7 \text{ m}^3/\text{t}$  supone la necesidad de disponer diariamente de más de 21.000  $\text{m}^3$ /día de estériles para rellenos. Esto da idea de la importante dimensión del problema.

Por lo que se refiere a los tajos mecanizados, sobre capas muy inclinadas, la producción diaria se estima en unas 6.500 t/día, que con un coeficiente de relleno del orden de  $0,7 \text{ m}^3/\text{t}$  significa disponer diariamente de unos 4550  $\text{m}^3$  de estériles.

El problema que comporta la utilización del relleno colgado, para conseguir la inversión del frente del taller radica en la inestabilidad propia de la masa de relleno que está por encima de su ángulo de talud natural ya que los materiales de relleno no tienen ninguna cohesión cuando se colocan en los talleres y su alta compresibilidad hace que, muchas veces, la convergencia de los hastiales sea insuficiente para obtener la resistencia mínima necesaria.

Si se consiguiera algún progreso en la técnica del relleno colgado el grado de mecanización podría aumentar sensiblemente y las exigencias de relleno, ya de por sí importantes, se verían incrementadas.

En el momento actual este progreso no es fácil, ya que no están suficientemente investigadas las propiedades que deben exigirse a los materiales de relleno y, menos aún, los medios y técnicas que deben ser empleados para mejorar las propiedades de los materiales disponibles.

El empleo de los rellenos autoconsolidables, técnica que está muy extendida en la minería metálica Norteamericana y en Polonia, permitiría reducir considerablemente las labores de refuerzo del sostenimiento en los tajos con relleno colgado permitiendo un progreso en la mecanización. Por otra parte el empleo de rellenos consolidables será también particularmente beneficioso al ser aplicado en los tajos no mecanizados sobre capas inclinadas, pues se podrían reducir notablemente las deformaciones de las galerías y por lo tanto los gastos de conservación.

Estos rellenos consolidables deben provenir fundamentalmente de las plantas de lavado y de las escombreras ya creadas con lo cual la puesta en marcha de este proyecto generará otro beneficio marginal al contribuir a la disminución de los problemas que presentan las escombreras. En este sentido los estudios realizados por el IGME sobre la problemática de las escombreras en nuestro país y sobre la formulación, en laboratorio, de rellenos consolidables a partir de los estériles de la minería del carbón; serán un punto de partida de inestimable valor.

## 2.2 Justificación dentro de los planes nacionales.

En el Plan Energético Nacional, en su capítulo de Resumen y Conclusiones, se señala: "En el subsector carbonero, donde pueden obtenerse recursos adicionales de una cierta consideración, se proponen medidas de impulso a la exploración e investigación geológica y tecnológica".

El Plan Nacional de Investigación del Carbón, presentado en Julio de 1.979 por la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción, y el Instituto Geológico y Minero de España, en sus capítulos 6.1 "Tecnología Minera" y 7 "Presupuestos", dedica el apartado 7.1.5 a Labores en pendiente o verticales.

La necesidad de este estudio figura como resultado del trabajo del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Energéticas titulado "Estudio previo para la elaboración de un Plan de Investigación y Desarrollo de Sistemas de Laboreo en la Minería del Carbón y Posibilidades de Aplicación de los Procesos de Conversión del Carbón a los Yacimientos Españoles". En el Tomo II dedicado a Sistemas de Laboreo, se fija como uno de los puntos principales el de labores en pendiente o verticales, que se examina con extensión en los capítulos 3.4 y 3.5. En el Tomo I "Planteamiento y Conclusiones" queda determinado como uno de los objetivos seleccionados (apartado 2.2.3) y como uno de los proyectos de investigación y desarrollo propuestos (apartado 2.2.5.5).

### 2.3 Resultados que se esperan del proyecto.

A largo plazo la realización de este proyecto puede suponer la puesta a punto de nuevos métodos de explotación que permitirían aumentar los rendimientos en la explotación de las capas inclinadas de carbón y en la conservación de las galerías de taller.

A corto plazo este proyecto pretende estudiar la viabilidad de la utilización de rellenos consolidables en la minería del carbón española y, en concreto, poner de manifiesto las ventajas que supondría la utilización de esta tecnología en el caso de los talleres de frente invertido con relleno colgado y en la conservación de las galerías de pie de tajo durante el período que transcurre entre el fin del taller y la puesta en explotación de una nueva planta.

3.- DEFINICION DEL PROYECTO.

### 3.1 Objetivos.

Los objetivos generales del proyecto se concretan en los siguientes puntos:

- \* Mejora del rendimiento de las capas de carbón en condiciones difíciles.
- \* Mejora en los rendimientos en las explotaciones de capas inclinadas con fente invertido y relleno colgado.
- \* Diseño de nuevos métodos de explotación para capas potentes e irregulares.
- \* Conservación de las galerías de base de los tajos durante el cambio de planta.

La consecución de los objetivos generales del proyecto implica su viabilidad a corto plazo lo cual constituye la etapa inmediata de los trabajos a realizar para estudiar la viabilidad del empleo de los rellenos consolidables en las minas de carbón españolas que explotan capas inclinadas de carbón. Dentro de los objetivos a alcanzar a corto plazo se concretan los siguientes:

- \* Determinación de la metodología de la puesta en obra más conveniente de los rellenos consolidables.
- \* Determinación de las formulaciones más apropiadas para obtener la máxima resistencia a corto plazo, en el caso de los frentes invertidos, y la mejor trabajabilidad en el caso de su aplicación en las galerías de tajo.



- \* Estimación de los costes que conllevaría esta tecnología tanto desde el punto de vista del coste de materiales a utilizar como de la mano de obra y maquinaria.
- \* Experimentación sobre la utilidad de esta tecnología en sendos ensayos, uno en un taller con relleno colgado y otro en una galería de base.

### 3.2 Plan de trabajo.

El desarrollo de este proyecto se efectuará en tres fases a lo largo de dos años y medio.

- \* Determinación de la metodología de colocación.
- \* Ensayos "in situ".
- \* Análisis de los resultados y planteamiento de soluciones prácticas.

A continuación se describe con detalle el desarrollo detallado de cada una de estas fases del proyecto.

#### 3.2.1 Determinación de la metodología de colocación.

Esta fase tiene una duración prevista de un año y en ella se pretende determinar la metodología de colocación, en los tajos y galerías, del relleno consolidable que resulte más idónea para las características de las explotaciones de la Cuenca Central Asturiana.

Esta fase del trabajo debe apoyarse firmemente en el proyecto de investigación sobre este tema desarrollado por el IGME bajo el título "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS RESISTENTES DE UN RELLENO CONSOLIDABLE PARA SU EMPLEO EN CAPAS INCLINADAS DE CARBON. ". En el Anejo I se incluye un resumen de las conclusiones obtenidas en este proyecto.

Para la realización de esta fase del proyecto deberá efectuarse una encuesta técnica en todos los pozos de la Cuenca Central Asturiana en la que se recogerán, con el máximo detalle posible, las exigencias en materia de relleno de las explotaciones, los medios de transporte disponibles en el interior y los condicionantes derivados del método de explotación empleado.

En esta fase se realizarán los ensayos necesarios para establecer la formulación de los rellenos consolidables más idóneos de acuerdo con la metodología de colocación seleccionada. Estos ensayos se realizarán, en escala semiindustrial, en el exterior o interior de las minas según sea más representativo.

También se realizarán sendos estudios, con modelos numéricos, para prever la acción del relleno consolidable en los tajos en explotación y galerías a conservar de tal forma que sea posible plantear los ensayos "in situ" sobre la utilización de los rellenos consolidables con las máximas garantías de éxito.

### 3.2.2 Ensayos "in situ".

Una vez finalizada la etapa anterior, que habrá permitido definir las condiciones más idóneas de utilización de los rellenos consolidables, se abordará la fase de ensayos "in situ".

Los ensayos "in situ" se realizarán a lo largo de un año en un taller en explotación y en una galería de pie de tajo.

Se seleccionará dos talleres en explotación, con el sistema de frente invertido, que se considere representativo y en el se rellenará el espacio correspondiente a 30 m. de avance del frente. En la zona rellenada se implementará la instrumentación necesaria para conocer el comportamiento geotécnico de los terrenos y poder contrastarlo con las previsiones realizadas por los modelos. En principio los parámetros a controlar serían la presión relativa en el relleno y la convergencia de los hastiales en la zona rellenada.

Suponiendo una capa de una potencia media de 1,2m., con una longitud de taller de 100 m. y un avance de 60 m., será necesario disponer de unos 7.200 m<sup>3</sup> de relleno consolidable para este ensayo.

El otro ensayo a realizar consiste en rellenar completamente una galería de pie de tajo, que se vaya a abandonar, controlando su estado de conservación a lo largo del tiempo. Se preve rellenar unos 100 m. de galería, lo cual con una sección de unos 9 m.<sup>2</sup> supone

disponer de 900 m<sup>3</sup> de relleno. Al igual que en el caso del taller la galería objeto del ensayo será objeto de un seguimiento instrumentándola para conocer la evolución de: presión en el relleno, presiones en los cuadros de sostenimiento, convergencia y expansión de los terrenos.

### 3.2.3 Análisis de resultados.

Esta fase tendrá una duración de seis meses y en ella se analizarán los resultados obtenidos en los dos ensayos realizados. De las conclusiones a las que se haya llegado se derivarán propuestas concretas para generalizar el empleo de los rellenos consolidables en las condiciones que se consideren de mayores posibilidades de éxito.

### 3.3 Area del estudio.

Este proyecto tiene aplicación en la explotación de las capas de carbón con gran inclinación, por ello, dado que la mayor concentración de explotaciones sobre este tipo de capas se encuentra en la Cuenca Central Asturiana, este proyecto se llevará a cabo en el ámbito de las explotaciones de la Cuenca de hulla y antracita del Noroeste español.

4.- PROGRAMA DE EJECUCION.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| FASE | ACTIVIDAD                     | TIEMPO EN TRIMESTRES |                      |         |       |                      |   |   |   |   |    |              |  |
|------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------|-------|----------------------|---|---|---|---|----|--------------|--|
|      |                               | 1                    | 2                    | 3       | 4     | 5                    | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |              |  |
| I    | Estudios previos              | XXXXXXXX             |                      |         |       |                      |   |   |   |   |    |              |  |
|      | Modelos geomatemáticos        |                      | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |         |       |                      |   |   |   |   |    |              |  |
|      | Formulación del relleno       |                      |                      | XXXXXXX |       |                      |   |   |   |   |    |              |  |
|      | Metodología de puesta en obra |                      |                      |         | XXXXX |                      |   |   |   |   |    |              |  |
| II   | Ensayo en tajo                |                      |                      |         |       | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |   |   |   |   |    |              |  |
|      | Ensayo en galería             |                      |                      |         |       | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |   |   |   |   |    |              |  |
| III  | Análisis de resultados        |                      |                      |         |       |                      |   |   |   |   |    | XXXXXXXXXXXX |  |

5.- PRESUPUESTO.

5.1 Ingeniería.

|  | <u>PESETAS</u>      |
|--|---------------------|
| Jefe de Proyecto   |                     |
| 90 días a 40.000 Pts/día.....                                    | 3.600.000,-         |
| Ingeniero Superior   |                     |
| 150 días a 32.500 Pts/día.....                                   | 4.875.000,-         |
| Proyectista  |                     |
| 80 días a 15.000 Pts/día.....                                    | 1.200.000,-         |
| Administrativos  |                     |
| 40 días a 14.000 Pts/día.....                                    | 560.000,-           |
| Confección modelo geoma-<br>temático del tajo con relleno.....   | 1.950.000,-         |
| Confección modelo geoma-<br>temático de galería con relleno..... | 1.480.000,-         |
| Ensayos de materiales.....                                       | 1.385.000,-         |
| Ensayos a escala semiindus-<br>trial.....                        | 2.850.000,-         |
| Instrumentación.....   | 2.415.000,-         |
| Mediciones en mina.....  | 5.123.000,-         |
| Visitas a lugares del ensayo.....                                | 850.000,-           |
| Bibliografía y documentación.....                                | 280.000,-           |
| Edición y redacción del infor-<br>me final.....                  | 580.000,-           |
|  | <hr/>               |
| <u>TOTAL</u>   | <u>27.148.000,-</u> |



### 5.2 Gastos en mina (A cargo de las Empresas)

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 8.100 m <sup>3</sup> de relleno consolidable fabricado<br>en interior a 1.500 Pts/m <sup>3</sup> ..... | 12.150.000,-                      |
| 180 jornales en colocación del relleno en<br>el tajo a 12.000 Pts/jornal.....                          | 2.160.000,-                       |
| 100 jornales en colocación del relleno en<br>galerías a 12.000 Pts/jornal.....                         | 1.200.000,-                       |
| Alquiler de maquinaria de fabricación del<br>relleno y colocación.....                                 | <u>7.000.000,-</u>                |
| <b>TOTAL</b> .....   | <b><u><u>22.510.000,-</u></u></b> |

### 5.3 Presupuesto total.

De acuerdo con lo anterior el presupuesto total para la realización del proyecto asciende a la cantidad de 49.658.000,- Pts. que se desglosan en dos grandes capítulos:

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| - Ingeniería .....                              | 27.148.000,-                      |
| - Gastos en mina (A cargo de las Empresas)..... | <u>22.510.000,-</u>               |
| <b>TOTAL GENERAL</b> .....                      | <b><u><u>49.658.000,-</u></u></b> |

ANEJO I: Resumen de las conclusiones obtenidas en el proyecto de investigación, realizado por el IGME, sobre "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS RESISTENTES DE UN RELLENO CONSOLIDABLE PARA SU EMPLEO EN CAPAS INCLINADAS DE CARBON".

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1.- INTRODUCCION.....  | 24 |
| 1.1 Estado actual de la utilización de rellenos consolidables..... | 26 |
| 1.2 Rellenos consolidables con baja proporción de cemento.....     | 28 |
| 1.3 Rellenos consolidables con alta proporción de cemento.....     | 30 |
| 2.- CARACTERISTICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS.....                    | 34 |
| 2.1 Estériles.....   | 34 |
| 2.2 Conglomerantes.....  | 38 |
| 2.3 Acelerantes de fraguado.....                                   | 39 |
| 3.- FORMULACION DE LOS RELLENOS CONSOLIDABLES.....                 | 40 |
| 3.1 Influencia del tipo de estéril.....                            | 44 |
| 3.2 Influencia de las cenizas volantes.....                        | 45 |
| 3.3 Influencia del cloruro cálcico.....                            | 46 |
| 4.- MODELIZACION GEOMECANICA.....                                  | 47 |
| 4.1 Características del modelo.....                                | 47 |
| 4.2 Características de los materiales.....                         | 49 |
| 4.3 Análisis de resultados.....                                    | 52 |
| 5.- CONCLUSIONES.....  | 55 |

---

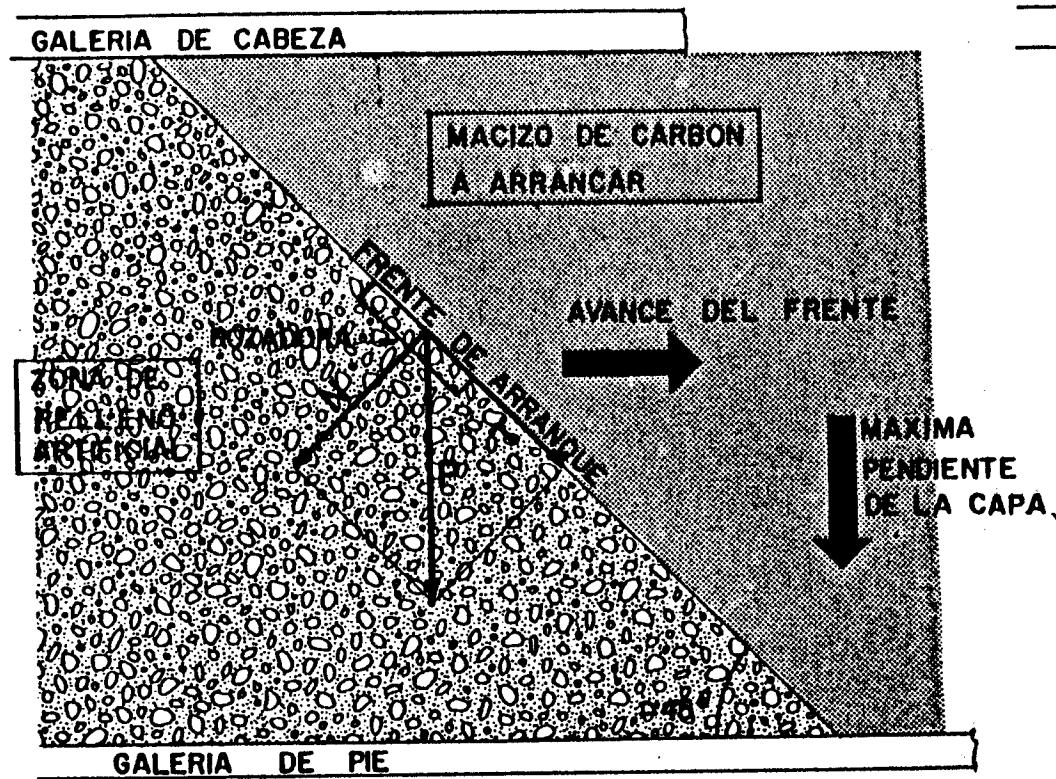
#### 1.- INTRODUCCION.

En las explotaciones de las capas con pendiente inferior a  $45^{\circ}$  el método del tajo largo proporciona un grado total de mecanización y una seguridad y rendimientos muy elevados. Habitualmente en este tipo de explotaciones el control del techo en la zona deshuellada se realiza por hundimiento lo cual, en general, no plantea mayor problema que la elevada subsidencia que se produce en superficie que se acerca al 90% de la potencia de la capa explotada.

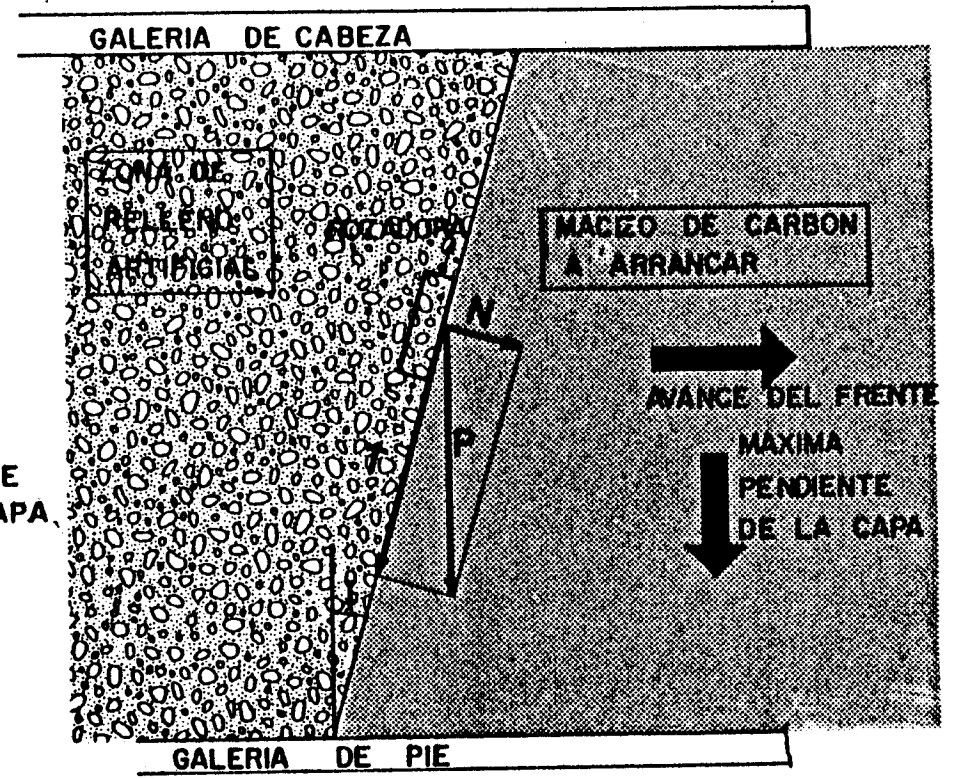
En el caso de las capas inclinadas el efecto de la gravedad se hace sentir dificultando la estabilidad de las máquinas en la calle de trabajo y el control de los estratos, techo y muro, en la zona deshullada. Esto trae como consecuencia que la mecanización de la explotación de las capas inclinadas esté mucho menos evolucionada que en el caso de capas subhorizontales y que, como regla general, sea preciso emplear el relleno para controlar los estratos en la zona deshullada.

Aún partiendo del hecho de que es necesario emplear relleno en las capas inclinadas el método de explotación más empleado que es el del relleno colgado, figura nº 1, plantea notables problemas debido a que es preciso reforzar considerablemente el sostenimiento, figura nº 2. Por otro lado otros métodos de explotación como el de franjas, empleado en LORENA, figs. nº 3 y 4, son de difícil aplicación sino se dispone de un relleno de la calidad adecuada.

En estas condiciones parece que el disponer de un relleno que tenga unas características resistentes aceptables y que resulte a un precio de coste bajo puede ser muy interesante para el progreso en la explotación de las capas inclinadas. Por esta razón el Instituto Geológico y Minero de España ha desarrollado, durante 1.981, un proyecto de investigación para determinar la posibilidad de construir un relleno consolidable empleando como materia prima los estériles de la minería del carbón.



A.- FRENTE EN DISPOSICION NORMAL



B.- FRENTE INVERTIDO CON "RELLENO COLGADO"

Fig. Nº 1.- SOLUCIONES PARA LA MECANIZACION DEL ARRANQUE EN UNA CAPA INCLINADA EN LA QUE EL FRENTE AVANZA PERPENDICULAR A LA LINEA DE MAXIMA PENDIENTE.

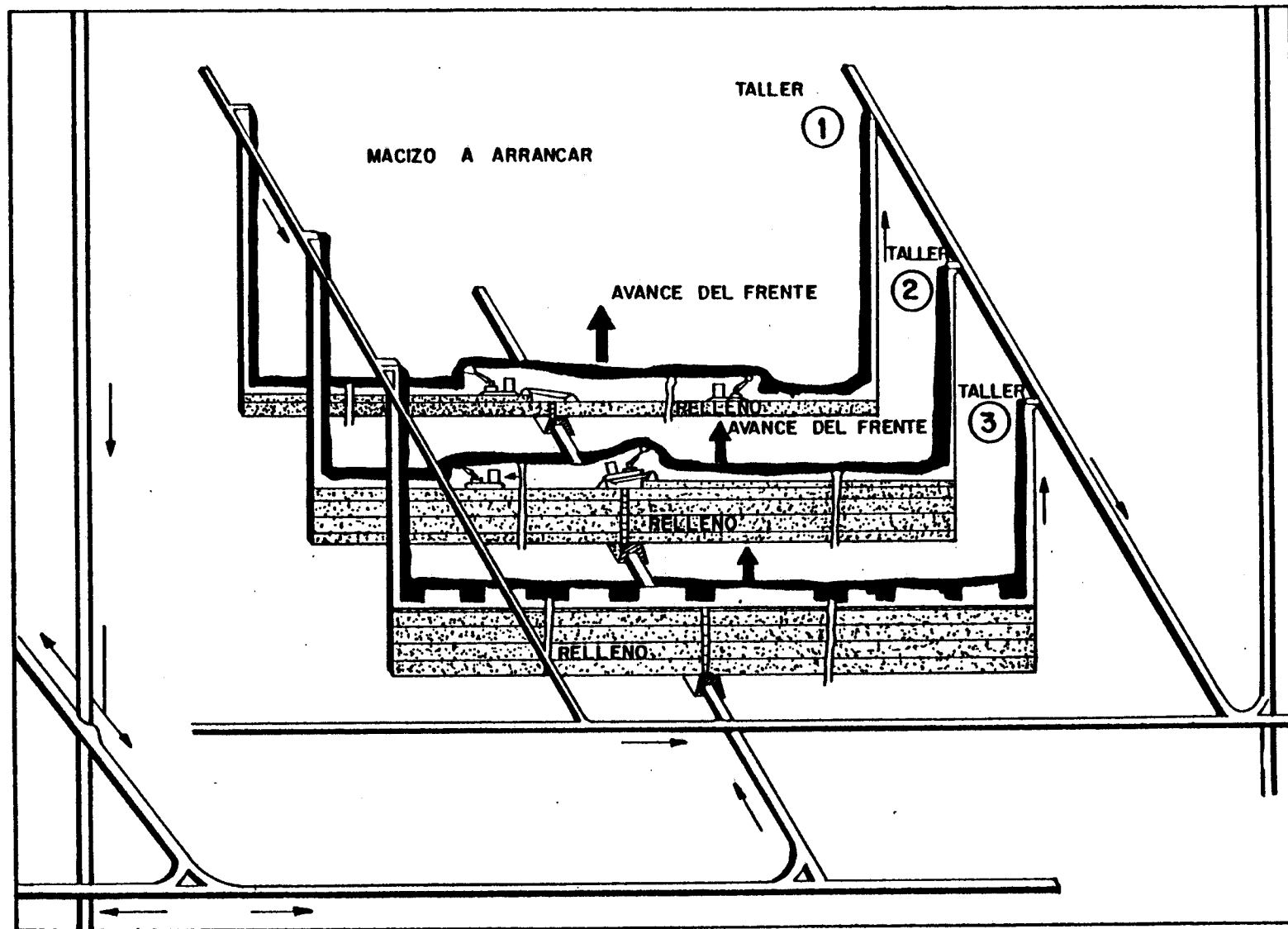


Fig. N° 3.- DISPOSICION DE LOS TALLERES SOBRE CAPAS INCLINADAS CON SENTIDO DE AVANCE DEL FRENTE ASCENDENTE.

### 1.1. ESTADO ACTUAL DE LA UTILIZACION DE RELLENOS CONSOLIDABLES

Aunque parece que los primeros rellenos hidráulicos se emplearon en 1.864 en las minas de carbón de Pennsylvania, CORSON (1980), su uso intensivo se ha restringido a la minería metálica donde los rellenos consolidables han tenido mucho auge con la aparición del sistema LHD momento en que fue preciso mejorar las propiedades portantes de los rellenos para permitir el paso de vehículos cada vez más pesados. Para resolver este problema tanto el BUREAU OF MINES, en su centro de SPOKANE, como las compañías canadienses más importantes: NORANDA, INCO y FALCONBRIDGE realizaron importantes investigaciones que han permitido poner a punto una mecanización total del método de corte y relleno.

En el momento actual los rellenos consolidables se consiguen, casi exclusivamente, mediante la adición de cementos del tipo Portland a los estériles de mina.

CORSON (1974) ha investigado la influencia de la adición de diversos materiales con el fin de mejorar la resistencia de los rellenos. Por lo que se refiere a las cenizas volantes finas, con tamaños inferiores a 30 micras, ha obtenido buenos resultados sustituyendo con este material la tercera parte del cemento que se necesitaba añadir. Los resultados obtenidos con los acelerantes típicos de fraguado,



como el Silicato Sódico o Cloruro Cálcico, han dado resultados irregulares pues muchas veces las probetas confeccionadas con mezclas que incluían estos componentes no se podían desmoldear al cabo de siete días. El empleo de yeso finamente molido ha dado resultados buenos pero hay que tener en cuenta la elevada retracción que se produce.

SINGH (1980) diferencia tres tipos de mezclas según su contenido en cemento conforme se indica en el cuadro N° 1.

| PROPORCION DE CEMENTO (% sólidos) | TIPO DE RELLENO CONSOLIDABLE  |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 3 - 4                             | Utilización normal            |
| 8 - 12                            | Capa de rodadura de vehículos |
| 16                                | Aplicaciones especiales       |

Cuadro n° 1 TIPOS DE RELLENO CONSOLIDABLES

En la figura n° 5 se muestra un resumen de las propiedades mecánicas que pueden obtenerse con los rellenos consolidables en función de la cantidad de cemento que con tengan.

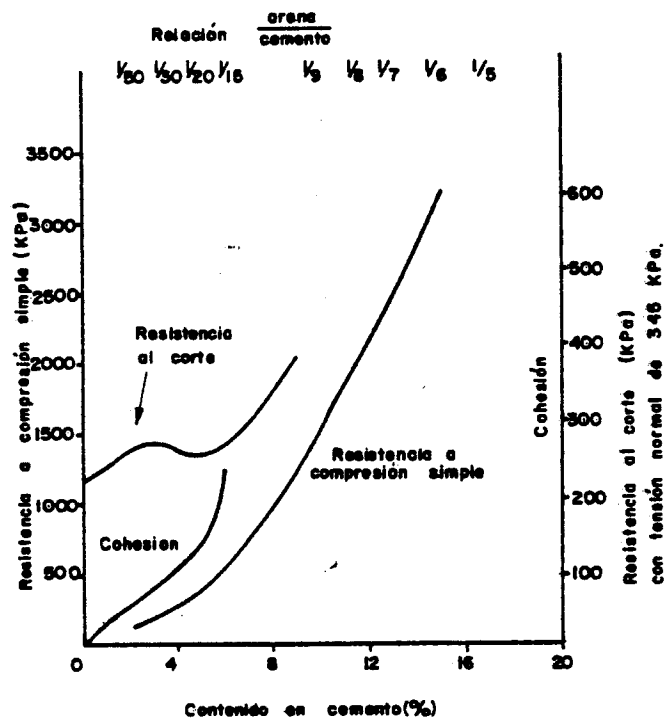


Fig. Nº 5.- CARACTERISTICAS MECANICAS DE LOS RELLENOS CONSOLIDABLES EMPLEADOS EN CANADA.

A continuación vamos a exponer con más detalle las características de los rellenos consolidables con baja y alta proporción de cemento ya que las formulaciones que se emplean como capa de rodadura no tienen interés para nuestros objetivos.

### 1.2. RELLENOS CONSOLIDABLES CON BAJA PROPORCION DE CEMENTO

Como se ha indicado este tipo de relleno tiene un contenido en cemento inferior al 4% del peso de materiales sólidos. El estéril suele jugar el papel de arena lo cual no siempre es exacto teniendo en cuenta las definiciones habituales, ya que los estériles disponibles en la minería metálica son, en general, del tamaño de los limos y, debido a las modernas técnicas de flotación para aprovechar menas cada vez más pobres, tienen una fracción importante de materiales del tamaño de arcillas.

En general las mezclas se identifican por la proporción entre arenas y cemento que suele ser de 50/1, 40/1 y 30/1.

Estos materiales se caracterizan por su resistencia a compresión simple que, en la mayoría de los casos, suele

medirse a los siete días de hecha la mezcla pues debido a la dinámica de las explotaciones importa muy poco la evolución de su resistencia a partir de ese periodo de tiempo CORSON (1967).

El factor que más influye en la resistencia de los rellenos consolidables es el contenido en cemento y así CORSON (1967), después de ensayar diversas formulaciones con estériles que contenían el 32% inferior a 200 mallas ASTM (74 micras) y el 5% inferior a 20 micras, propone la relación gráfica que se muestra en la figura nº 6.

El segundo factor en importancia para definir la resistencia de los rellenos consolidables es el coeficiente de uniformidad y para tenerlo en cuenta CORSON (1974) propone la siguiente relación:

$$L_n \sigma_c = 8,27 + 1,48 L_c C + 0,113 Cu \quad (1)$$

Donde

$\sigma_c$  = resistencia a compresión a siete días, en psi

C = contenido de cemento, en % del peso de sólidos

Cu = coeficiente de uniformidad ( $D_{60}/D_{10}$ )

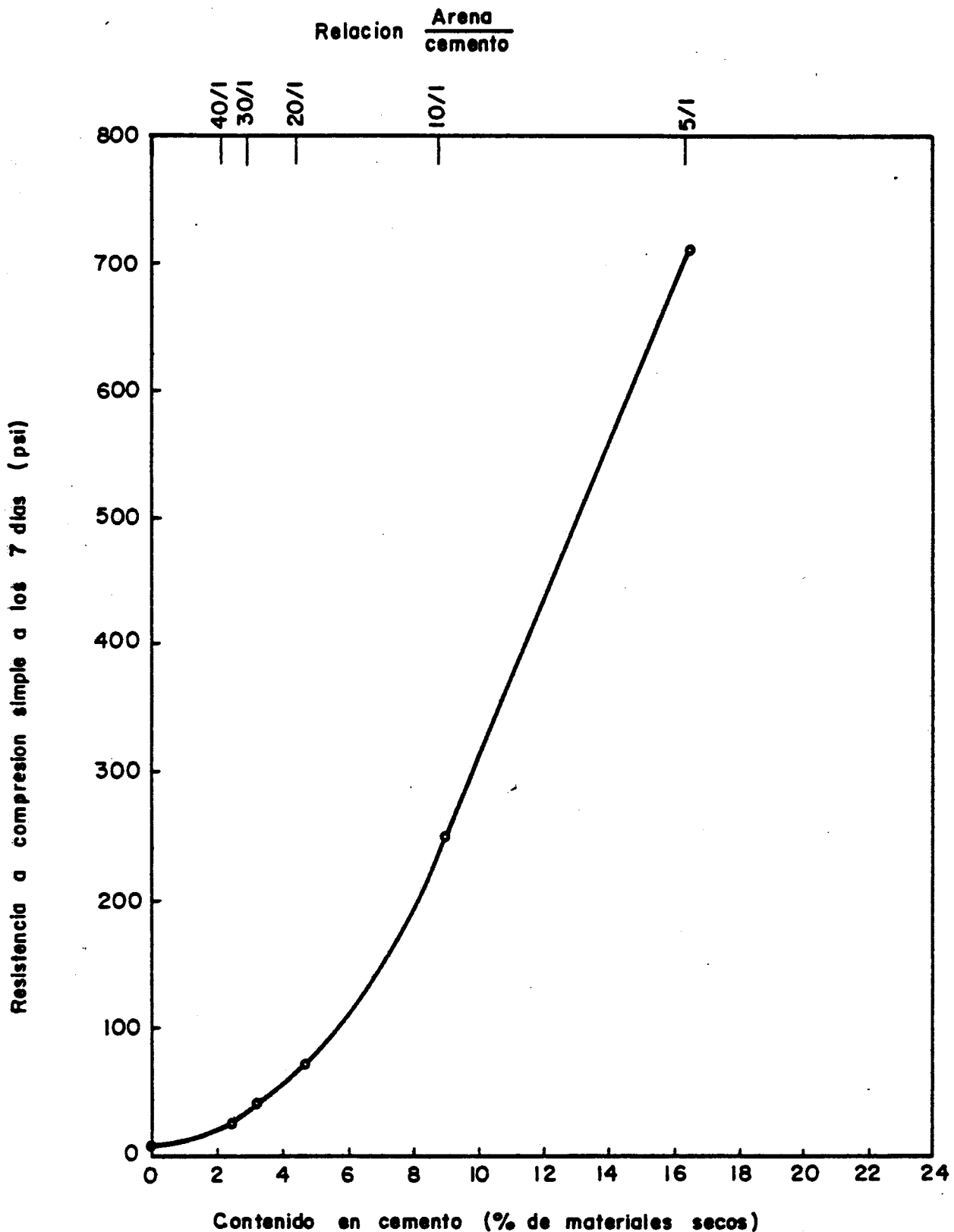


Fig. N° 6.- RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE A LOS SIETE DIAS Y EL CONTENIDO EN CEMENTO DE LOS RELLENOS CONSOLIDABLES EMPLEADOS EN U.S.A.

En general puede afirmarse que el comportamiento mecánico de estos materiales está regido por su cohesión para valores pequeños de las tensiones que actúan y por su ángulo de rozamiento interno para valores elevados de la tensión.

Para rellenos con relación arena/cemento = 40/1 CORSON (1974) indica que la mejor cohesión la dan los estériles de granulometría más fina pero el mayor ángulo de rozamiento interno corresponde a mezclas elaboradas con estériles de granulometría bien graduada.

Según HILL (1975) un relleno consolidable de calidad debiera tener las siguientes características:

$$E = 60.000 \text{ p.s.i.}$$

$$\nu = 0,25$$

$$\gamma = 125 \text{ p.c.f.}$$

$$\sigma_c = 30 \text{ p.s.i.}$$

$$t = 5 \text{ p.s.i.}$$

### 1.3. RELLENOS CONSOLIDABLES CON ALTA PROPORCION DE CEMENTO

Muchas minas metálicas se desarrollan a profundidades superiores a los 1.500 m. y en estos casos las concentraciones de tensiones que se producen en torno a los pilares residua

les son tan importantes que se producen violentos golpes de carga que llegan a poner en peligro la viabilidad de las explotaciones. En estos casos la mejor solución estriba en eliminar los pilares residuales sustituyéndolos por otros realizados con materiales resistentes pero deformables de tal forma que la acumulación de tensiones que se produzca no cree problemas a la estabilidad de la mina. En general este tipo de explotaciones se realizan por el método de corte y relleno en sentido descendente, produciéndose un relleno parcial mediante losas que independizan los sucesivos niveles de explotación.

Con este método de explotación se pretende conseguir los siguientes objetivos:

- \* Mayor seguridad en las explotaciones
- \* Mejorar la selectividad del sistema y no contaminar el mineral arrancado con el relleno
- \* Conseguir una recuperación total del yacimiento

En estos casos el relleno empleado es más bien un auténtico hormigón pues en experiencias citadas por DUROCHER (1980) en Francia y por MUSSO et al. (1972) en ITALIA se pretendía llegar a resistencias a compresión a 28 días del

orden de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  en el primer caso y de  $150/\text{cm}^2$  en el segundo.

Consecuentemente los áridos empleados no son simples estériles de mina sino que responden a especificaciones muy concretas.

En el caso de la explotación de Noailhac-Saint-Salvy, DUROCHER (1980) indica la composición por metro cúbico que se indica en el cuadro nº 2.

| MATERIAL | ESPECIFICACION | PROPORCION |      |
|----------|----------------|------------|------|
|          |                | PESO (kg)  | %    |
| Arena    | 0 - 6 mm       | 1160       | 44,5 |
| Grava    | 6 - 20 mm      | 1160       | 44,5 |
| Cemento  | CPA - 325      | 140        | 5,5  |
| Agua     | ---            | 140        | 5,5  |

Cuadro nº 2 COMPOSICION DEL RELLENO EMPLEADO EN NOAILHAC-SAINT-SALVY

En el cuadro nº 3 se indican las características del relleno empleado en las explotaciones italianas según MUSSO et al. (1972).



|                                     |   | MINAS   |                                      |                          |   |
|-------------------------------------|---|---|--------------------------------------|--------------------------|---|
|                                     |   | GAVORRANO                                     | RAIBL                                | FONTANE                  |   |
| COMPOSICION                         | Tamaño máximo del árido                       | 60 mm.  | 30 mm.                               | 30 mm.                   |   |
|                                     | Prporción de cemento                          | 138 Kg/m <sup>3</sup>                         | 194 Kg/m <sup>3</sup>                | 200 mm.                  |   |
|                                     | Relación $\frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$ | 1,0   | 0,6                                  | 0,6                      |   |
| CARACTERISTICAS MECANICAS A 28 DIAS | Densidad                                      | 2,08 t/m <sup>3</sup>                         | 2,33 t/m <sup>3</sup>                | 2,26 t/m <sup>3</sup>    |   |
|                                     | Resistencia a compresión simple               | 102 kg/cm <sup>2</sup>                        | 225 Kg/cm <sup>2</sup>               | ?                        |   |
|                                     | Resistencia a tracción (ENSAYO BRASILEÑO)     | 13 Kg/cm <sup>2</sup>                         | 27 Kg/cm <sup>2</sup>                | ?                        |   |
|                                     | COHESION                                      | $\sigma_3 < 50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ | C=25 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ | 60-80 Kg/cm <sup>2</sup> | ? |
|                                     |   | $\sigma_3 > 50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ | C=65 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ |                          |   |
|                                     | ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO                  | $\sigma_3 < 50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ | $\phi = 47^\circ$                    | 50-35°                   | ? |
|                                     |   | $\sigma_3 > 50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ | $\phi = 37^\circ$                    |                          |   |
| MODULO DE POISSON                   | 0,37  | 0,10  | -----                                |                          |   |

Cuadro N° 3 CARACTERISTICAS DE LOS RELLENOS DE ALTO CONTENIDO EN CEMENTO EMPLEADOS EN ITALIA

En ambos casos la puesta en obra está muy cuidada, empleándose armaduras de acero para evitar las tensiones de tracción y se utiliza la técnica del vibrado pues se exige una compactación que dé una densidad próxima al 95% del óptimo según el ensayo PROCTOR.

Conviene destacar que en la explotación de Noailhac-Saint-Salvy se está pensando pasar a una mezcla que proporcione una resistencia a compresión del orden de  $50 \text{ Kg/cm}^2$  pues la resistencia actual, que es del orden de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , provoca reacciones indeseables en los hastiales en la unión con las losas de hormigón.

## 2.- CARACTERISTICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Una vez definidas las características de los rellenos consolidables actualmente empleados, expondremos las características de las materias primas que se pueden emplear en su fabricación.

### 2.1. ESTERILES

El primer problema que se plantea es que los estériles de la minería del carbón presentan una cierta inhomogeneidad en cuanto a su composición química y granulometría. La falta

de homogeneidad no es muy acusada en lo que se refiere a su composición química, GONZALEZ-CAÑIBANO (1981), lo cual es lógico ya que estos materiales están compuestos en su totalidad de rocas encajantes de las capas del carbonífero asturiano que son de similar composición a escala de una mina. El problema es más grave por lo que se refiere a la granulometría ya que es muy variable, en el caso de escombreras, conforme se ha puesto en evidencia en estudios anteriores realizados por el IGME (1980). En el caso de los lavaderos la granulometría de los estériles disponibles no presenta grandes variaciones ya que por un lado los procesos de lavado son bastante homogéneos y, por otro, solo se ha empleado la fracción correspondiente al lavado de los menudos.

Para clasificar los estériles se empleará el tamaño máximo del árido y el porcentaje de arenas que contienen.

El tamaño máximo influye sobre la trabajabilidad del relleno que será tanto mejor cuanto menor sea la dimensión del tamaño máximo del árido.

El contenido de arenas, que es la fracción comprendida entre 0 y 5 mm, debe ser conocida ya que debe variar entre estrechos límites si se quiere que el relleno sea manejable, compacto y duradero. Un exceso de arena supondría un grave

problema ya que para corregirlo sería necesario realizar un cribado con el consiguiente aumento de costes. En caso de defecto de arena es conveniente y posible su corrección. Conveniente por las razones que se han dado. Posible porque pueden completarse los finos que faltan con cenizas volantes que son un producto de deshecho, cuyo almacenamiento crea graves problemas, y que están disponibles a bajo coste en la región asturiana.

Dado que el tamaño máximo no tiene sentido real en la granulometría de una escombrera se ha sustituido a efectos prácticos, por el tamaño medio del huso granulométrico que corresponde al tamiz que deja pasar el 90% del material. Con esta modificación y la definición de la proporción de arena que se ha dado antes se han clasificado los estériles de las cinco escombreras asturianas que reúnen las mejores características para ser aprovechadas, IGME (1981), y de los cinco lavaderos más significativos de HUNOSA obteniéndose los resultados que se indican en el cuadro nº 4.

Analizando los datos contenidos en el cuadro nº 4 los estériles estudiados pueden clasificarse en los tres grupos que se indican en el cuadro nº 5.

| PROCEDENCIA DE LOS ESTERILES | T.M. (*)<br>(m.m.) | CONTENIDO EN ARENA<br>% |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|
| ESCOBRERA DE S. INOCENCIO    | 50                 | 30                      |
| ESCOBRERA DE ESKAR           | 50                 | 30                      |
| ESCOBRERA DE REICASTRO       | 30                 | 42                      |
| ESCOBRERA DE MORGAO          | 30                 | 42                      |
| ESCOBRERA DE LADA            | 30                 | 42                      |
| LAVADERO DE CANDIN           | 10                 | 60                      |
| LAVADERO DE MODESTA          | 10                 | 60                      |
| LAVADERO DE SOVILLA          | 10                 | 60                      |
| LAVADERO DE TURON            | 10                 | 60                      |
| LAVADERO DE MIERES           | 10                 | 60                      |

(\*) T.M.: Tamaño medio de intervalo definido en el huso para el 90% del material que pasa.

Cuadro nº 4 CARACTERISTICAS DE ALGUNOS ESTERILES DE LA MINERIA ASTURIANA DEL CARBON

| PROCEDENCIA         | T.M.<br>(mm) | CONTENIDO<br>EN ARENA |
|---------------------|--------------|-----------------------|
| ESCOBRERAS A        | 50           | 30                    |
| ESCOBRERAS B        | 30           | 42                    |
| MENUDOS DE LAVADERO | 10           | 60                    |

Cuadro nº 5 CLASIFICACION DE LOS ESTERILES PARA FABRICAR RELLENOS CONSOLIDABLES

## 2.2. CONGLOMERANTES

A la vista de los condicionantes económicos y de trabajo que han de cumplir los rellenos consolidables se han definido dos materiales conglomerantes: uno principal y otro secundario. El conglomerante principal es el que debe dar la resistencia al relleno; pero, como la dosificación de cemento debe ser lo más baja posible para que el relleno sea económico, es necesario que se complemente con otro conglomerante secundario que permita dar a la mezcla el grado deseado de trabajabilidad.

Como conglomerante principal se ha empleado cemento Portland P-450 ARI que permite obtener una alta resistencia inicial. Este cemento se encuentra habitualmente en el mercado y no existen problemas de suministro.

Como conglomerante secundario se han empleado cenizas volantes de central térmica que, además de ejercer un papel sustitutivo de las arenas, realizan una función importante debido a sus propiedades puzolánicas y, por consiguiente, contribuyen a aumentar la resistencia mecánica de los hormigones.

### 2.3. ACELERANTES DE FRAGUADO

Como es preciso, lograr la mayor resistencia posible del hormigón a corto plazo se han empleado aceleradores de fraguado. Los acelerantes de fraguado deben ser solubles en el agua de amasado para que se distribuya homogéneamente, deben ser fáciles de manejar y ha de resultar económico. El producto más empleado para estos fines es el cloruro cálcico que, además de ser un acelerador del fraguado, es un plastificante y, por lo tanto, para obtener una docilidad dada puede reducir la relación agua/cemento con la consiguiente mejora de la resistencia mecánica y calidad del hormigón.

La proporción que resulta más adecuada resulta ser el 3% del peso de cemento de acuerdo a investigaciones realizadas por el Instituto Eduardo Torroja. El cloruro cálcico a que se refieren estas investigaciones es químicamente puro; pero, en las aplicaciones reales se suele emplear cloruro cálcico comercial que tiene un contenido en  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  comprendido entre el 70 y 80% circunstancia que debe tenerse en cuenta a la hora de realizar una formulación.

Además del cloruro cálcico se han empleado otros compuestos como aceleradores de fraguado como el sulfato potásico y compuestos comerciales específicos para este fin.

El sulfato potásico se ha empleado combinado con el sulfato cálcico que tiene buenas propiedades hidráulicas y es un subproducto de la industria. Ambos compuestos se emplean en minería para la fabricación de muros de protección de las galerías frente a las presiones generadas en el avance de los tajos, con un éxito notable.

También se ha empleado el ISOCRET que es un aditivo para el hormigón proyectado con propiedades acelerantes, impermeabilizantes, adherentes, plastificantes y cohesionantes. El ISOCRET es un polvo blanco con densidad de 750 gr/litro que se utiliza en proporciones comprendidas entre el 3 y 5% del peso del cemento, con lo cual en las aplicaciones normales se consigue que el fraguado se inicie al cabo de 2 a 4 minutos. El ISOCRET puede ser aplicado también por vía líquida doblando en este caso las proporciones a emplear.

### 3.- FORMULACION DE LOS RELLENOS CONSOLIDABLES.

De acuerdo con todo lo anterior se preparó una formulación tipo con los siguientes componentes:



|   |                           |
|---|---------------------------|
| - CENIZAS DE LADA .....                                       | 800 Kg/m <sup>3</sup>     |
| - CEMENTO P-450 .....   | 27 Kg/m <sup>3</sup>      |
| - ARIDO CALIZO SIN CRIBAR CON<br>TAMAÑO MAXIMO DE 40 mm ..... | 1.200 Kg/m <sup>3</sup>   |
| - AGUA .....  | 392 litros/m <sup>3</sup> |

Con esta composición se elaboró una masa de 20 litros con la que se fabricaron tres probetas cilíndricas, de 15 x 30 cm, que tras ser curadas en una cámara húmeda a una temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  se sometieron a ensayos de compresión simple con los resultados que se muestran en el cuadro nº 6.

| EDAD DE ROTURA | RESISTENCIA A<br>COMPRESION SIMPLE |
|----------------|------------------------------------|
| 3 días         | 1,1 Kg/cm <sup>2</sup>             |
| 7 días         | 1,7 Kg/cm <sup>2</sup>             |
| 28 días        | 7,9 Kg/cm <sup>2</sup>             |

Cuadro nº 6 RESISTENCIAS OBTENIDAS CON LA  
FORMULACION TIPO

Estos resultados en principio son satisfactorios ya que según HILL (1975) un relleno de calidad debiera tener una re

sistencia a compresión simple, a los siete días, de  $1,68 \text{ Kg/cm}^2$ .

En las siguientes fases de la investigación se han confeccionado nuevas formulaciones empleando los estériles de mina y ceniza de LADA, a partir de la formulación patrón, para tratar de optimizar esta tanto desde un punto de vista técnico como económico. Para ello se han realizado 18 formulaciones válidas de las que tres corresponden a los estériles de escombrera de tipo A, ocho a los estériles de escombreras de tipo B y siete a los menudos de lavadero.

La composición de las formulaciones investigadas no difiere sustancialmente de la formulación de tipo por lo que se refiere a la cantidad de cemento; pero las cenizas volantes al jugar, fundamentalmente, el papel corrector del déficit de arena están muy relacionadas con la granulometría de los estériles disponibles. En cualquier caso para cada tipo de estériles se han elaborado las formulaciones que se han considerado necesarias para lograr unos resultados satisfactorios.

A la vista de los resultados obtenidos se puede afirmar que el objetivo general de esta investigación ha sido superado con creces pues, sea cual sea el tipo de estéril empleado, las resistencias obtenidas superan ampliamente las presiones que habitualmente se miden en el relleno colgado de los talleres con frente

invertido; por otro lado las resistencias obtenidas en esta investigación superan las especificaciones dadas por HILL (1975) para los rellenos consolidables que se emplean en U.S.A.

En el cuadro nº 7 se muestran las características de las formulaciones óptimas para cada uno de los tipos de estériles empleados.

| TIPO DE ESTERIL     | CARACTERISTICAS DE COMPOSICION |               |              |                 | CARACTERISTICAS RESISTENTES |                             |                              |                |
|---------------------|--------------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
|                     | Cenizas Volantes               | Arena Cemento | Agua Cemento | Cloruro Cálcico | c1<br>( $\frac{Kg}{cm^2}$ ) | c7<br>( $\frac{Kg}{cm^2}$ ) | C'7<br>( $\frac{Kg}{cm^2}$ ) | $\phi'$<br>(°) |
| ESCOBRERA TIPO A    | 300 Kg/m <sup>3</sup>          | 30/1          | 11,3         | 10%             | 2,25                        | 3,35                        | 0,73                         | 51             |
| ESCOBRERA TIPO B    | 160 Kg/m <sup>3</sup>          | 32/1          | 8,5          | 10%             | 1,77                        | 3,57                        | 0,82                         | 45             |
| MENUDOS DE LAVADERO | -----                          | 30/1          | 3,25         | 4%              | 1,32                        | 1,98                        | 0,47                         | 51             |

Cuadro nº 7 CARACTERISTICAS DE LAS FORMULACIONES OPTIMAS

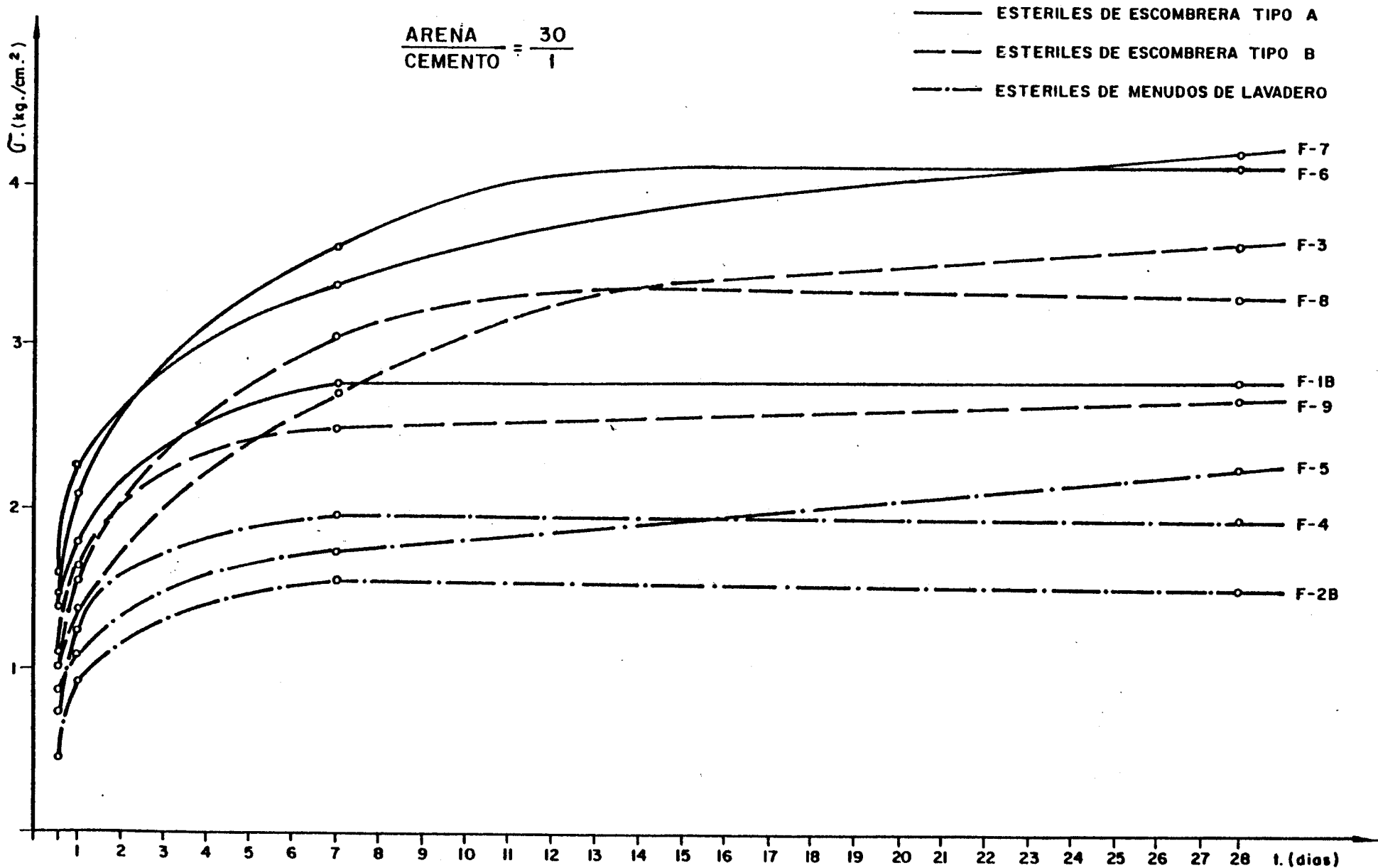
Como líneas futuras de investigación se pueden apuntar el empleo de acelerantes energicos tipo ISOCRETE, la combinación de sulfato cálcico con cenizas volantes y el empleo masivo de cenizas volantes con adición de cloruro cálcico en el caso de los me

nudos de lavadero. Obviamente en todos los casos aumentarán las resistencias de los rellenos consolidables si se disminuye la relación agua/cemento por adición de material conglomerante.

### 3.1. INFLUENCIA DEL TIPO DE ESTERIL

El tipo de estéril tiene una clara influencia sobre la resistencia a compresión simple del relleno consolidable; pues, conforme se pone de manifiesto en la figura nº 7, cuanto mayor es el tamaño de los estériles mayor es la resistencia que se obtiene. Desde el punto de vista que interesa a esta investigación hay que indicar que una forma simple de mejorar las características de los rellenos consolidables fabricados con menudos de lavadero sería mezclar los menudos con estériles gruesos de escombreras.

Otra consecuencia importante radica en el hecho de que los escombros procedentes del avance de galerías, que normalmente son triturados en el interior antes de emplearlos en los talleres de explotación, constituirían un material excelente para fabricar rellenos consolidables.



**Fig. N° 7.- RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE EN FUNCION DEL TIEMPO SEGUN EL TIPO DE ESTERILES**

### 3.2. INFLUENCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES

La adición de cenizas volantes tiene como principal fin eliminar el déficit de arena en cada formulación y como fin secundario aportar una resistencia suplementaria debido a su acción puzolánica. En la fig. nº 8 se pone de manifiesto que la adición de cantidades importantes de cenizas volantes se traduce en incrementos apreciables de la resistencia a compresión simple. Como ya se ha indicado que el efecto puzolánico se manifiesta a medio-largo plazo es necesario encontrar en cada caso el acelerante adecuado para que la resistencia inicial sea lo más alta posible.

Aunque esta investigación está dirigida a mejorar el sistema del relleno colgado, que es un freno importante para la mecanización de las capas inclinadas de carbón, no hay que olvidar que a largo plazo un relleno de mejor calidad producirá menores movimientos de los terrenos y, en consecuencia, menores trabajos de conservación de las galerías y menores hundimientos en superficie. Por ello la adición, en gran cantidad, de cenizas volantes resulta una posibilidad muy ventajosa que todavía se acrecienta si se tiene en cuenta los grandes problemas de almacenamiento que presentan las cenizas volantes.

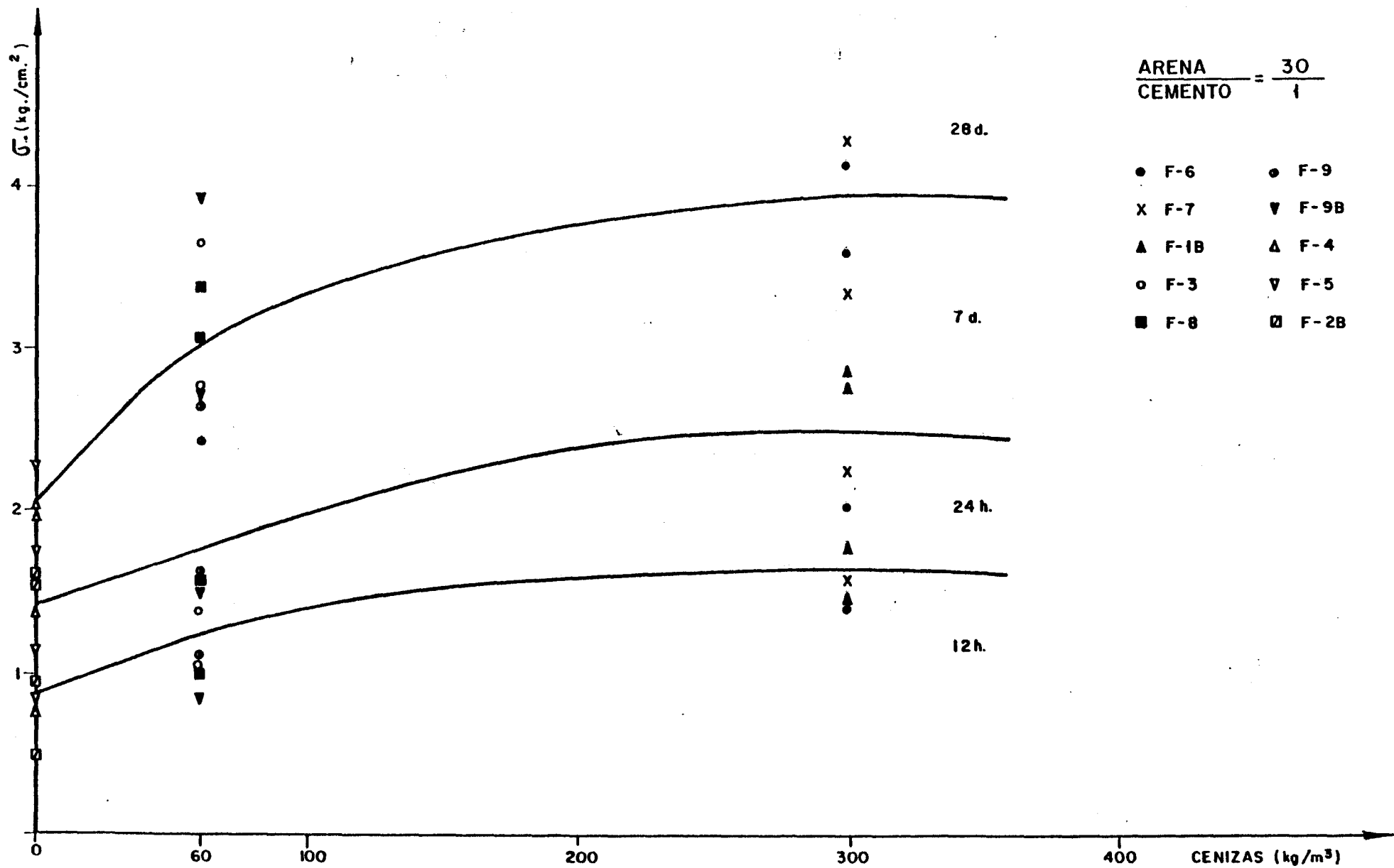


Fig. N° 8.- RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE EN FUNCION DE LAS CENIZAS VOLANTES SEGUN EL TIEMPO DE FRAGUADO

### 3.3. INFLUENCIA DEL CLORURO CALCICO

El cloruro cálcico que se ha agregado a las formulaciones como acelerante de fraguado ha actuado de dos formas claramente diferenciadas conforme se ilustra en la figura nº 9. En el caso de las formulaciones realizadas con estériles procedentes del lavado de menudos, que no tienen en su composición cenizas volantes, el cloruro cálcico ha realizado un papel de acelerante del fraguado del cemento. Consecuentemente la máxima resistencia, en un plazo muy corto, se obtiene con una proporción baja de cloruro cálcico, lo cual está de acuerdo con la práctica habitual.

Sin embargo cuando en la formulación del relleno consolidable entran a formar parte las cenizas volantes la proporción de cloruro cálcico que da los mejores resultados es la más alta de las tres ensayadas, es decir el 10%. Esto es lógico ya que el cloruro cálcico debe acelerar tanto el fraguado del cemento P-450, para lo cual se necesita el 4%, como el carácter puzolánico de las cenizas volantes para lo cual se requiere una cantidad suplementaria de acelerante. En este caso es posible que proporciones de cloruro cálcico, mayores que el 10% puedan proporcionar una acción más enérgica que se traduzca en una mayor resistencia a corto plazo. Esto último deberá ser objeto de ensayo en posteriores investigaciones.



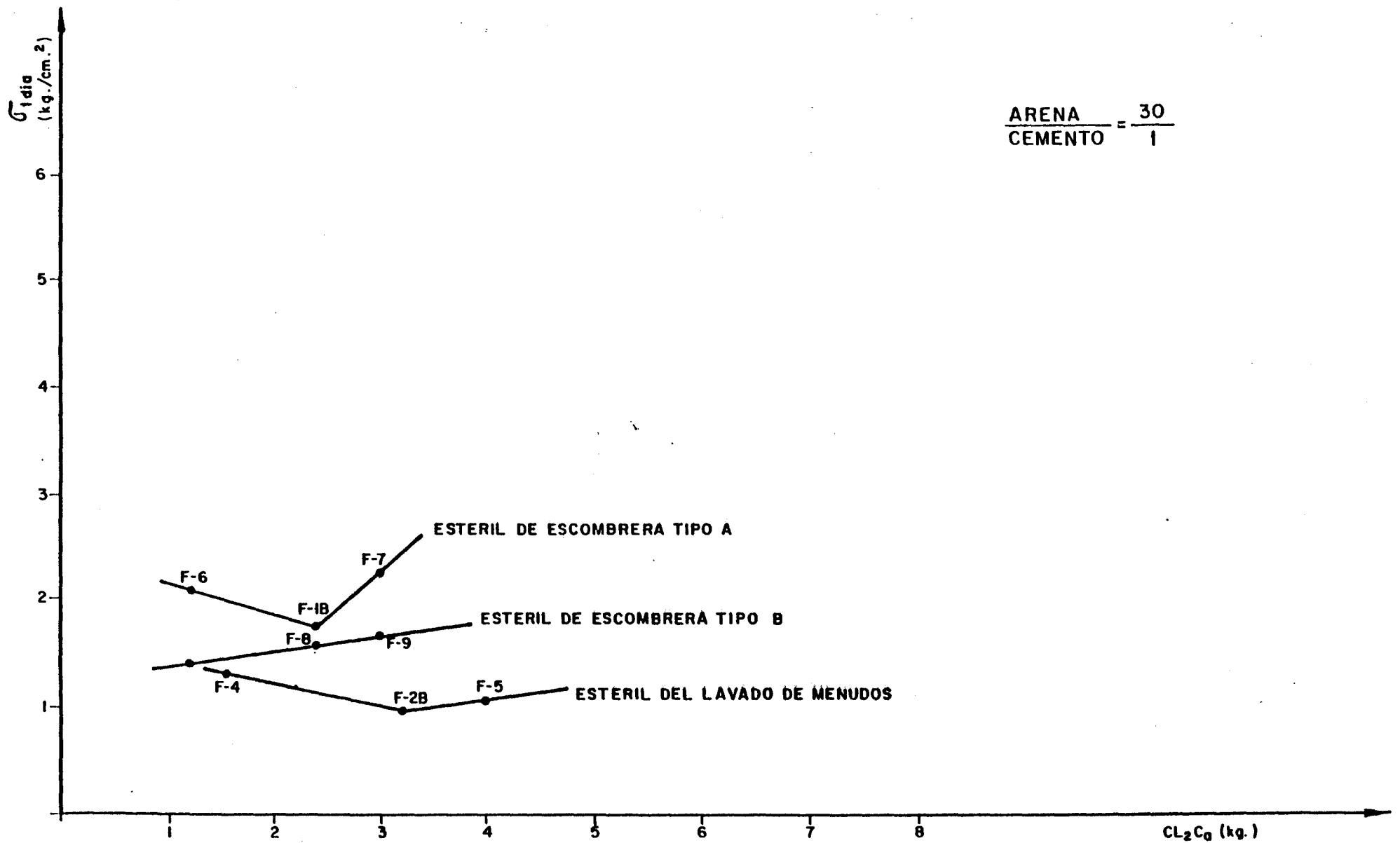


Fig. N° 9.- RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE EN FUNCION DEL CONTENIDO DE CLORURO CALCICO SEGUN EL TIPO DE ARIDO

#### 4.- MODELIZACION GEOMECANICA.

Para poder establecer la influencia que ejerce un relleno consolidable sobre la distribución de presiones en un tajo con relleno se ha empleado un modelo geomecánico elasto-plástico, DHAL (1969), que se basa en el método de los elementos finitos. Se han hecho dos aplicaciones, una en la que el relleno es consolidable y otra en la que el relleno tiene las características de un relleno normal al que no se le han añadido aditivos de ningún tipo. Por comparación de los resultados obtenidos en ambos problemas se ha establecido la influencia que puede ejercer el relleno consolidable.

##### 4.1. CARACTERISTICAS DEL MODELO

El modelo empleado comprende un área de 100 m x 32 m y corresponde a un corte transversal paralelo a la dirección de avance del taller. El modelo consta de 318 nudos y 546 elementos triangulares. La potencia de la capa es de 2 m. y el modelo incluye los materiales situados hasta 20 m. al techo de la capa y 10 m. al muro de ella. Al muro se han modelizado, por orden de proximidad a la capa, estratos de: pizarra media, pizarra floja, arenisca y pizarra fuerte.

Se ha puesto que el techo está formado por: pizarra media, pizarra floja, arenisca, pizarra media y pizarra floja.

El modelo incluye 30 m. de terreno por delante del tajo y 70 m. por detrás de él. Se ha supuesto una calle de trabajo de 2 m. de ancho, ocho filas de mampostas de madera y 60 m. de relleno.

Se ha supuesto que el modelo está sometido a una tensión normal, en sus caras superior e inferior, de 8 MPa lo cual corresponde a un taller situado a una profundidad de unos 320 m. Se ha supuesto que las caras laterales están sometidas a una tensión horizontal de 4,28 MPa lo cual supone un coeficiente de reparto de  $K = 0,535$ .

Como condiciones del modelo se ha supuesto que los nudos 1; 22; 23; 44; 45; 66; 67; 88; 89; 110; 111; 140; 149; 178; 187; 208; 209; 230; 231; 252; 253; 274; 275; 296; 297 y 318, que forman la parte inferior del modelo, permanecen fijos.

Se ha limitado el movimiento vertical de los nudos que forman la cota superior de la capa de carbón y de relleno de acuerdo con el cuadro nº 8.

| LIMITACION DEL MOVIMIENTO VERTICAL EN NUDOS |                |      |      |      |      |      |     |     |         |     |     |     |      |      |      |     |      |      |      |
|---|----------------|------|------|------|------|------|-----|-----|---------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|
|   | CAPA DE CARBON |      |      |      |      |      |     |     | RELLENO |     |     |     |      |      |      |     |      |      |      |
| NUDO  | 17             | 28   | 39   | 50   | 61   | 72   | 83  | 105 | 192     | 203 | 214 | 225 | 236  | 247  | 258  | 269 | 280  | 291  | 302  |
| MOVIMIENT<br>TO MAXIMO<br>SEGUN<br>OY (m)   | 0,01           | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,2     | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,01 |

Cuadro nº 8 LIMITACION DEL MOVIMIENTO VERTICAL EN EL CARBON Y RELLENO

Estas limitaciones, que corresponden totalmente a la realidad práctica, es necesario imponerlas ya que en caso contrario el ordenador no es capaz de ensamblar la matriz de rigidez del modelo y se pierde la convergencia parandose el proceso de cálculo.

#### 4.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

El modelo incluye once materiales distintos, de los que cinco corresponden a las rocas que integran la estratigrafía de la capa que ya se ha descrito antes, uno corresponde a las

mampostas de madera y los cinco restantes a distintos estados del relleno. se ha supuesto que el relleno natural sufre, por efecto de la convergencia, un "endurecimiento" de tal forma que a 27 metros por detrás del frente sus características son las mismas que las del relleno consolidable un día después de su colocación. en cuanto al relleno consolidable se ha supuesto que sus características mejoraban, a medida que se producía el fraguado, según transcurre el tiempo desde su colocación. Dado que el relleno va a trabajar confinado se ha supuesto que su resistencia a compresión simple es tres veces superior a la determinada en el laboratorio. Esta hipótesis se ha aplicado tanto al relleno consolidable como al relleno normal. En el cuadro nº 9 se muestran las características de los materiales empleados.

Se ha supuesto, también, una condición de isotropía dentro de cada estrato del mismo material. Esta hipótesis supone una cierta desviación de la realidad; pero, como actualmente no se conocen adecuadamente las características anisotrópicas de las rocas del carbonífero asturiano, el error que se cometería estimándolas puede ser sensiblemente mayor que el que se deriva de asumir estas hipótesis.

Por último hay que recordar que sólo pueden existir dos parámetros elásticos independientes de modo que una vez definidos  $E$  y  $\nu$  por ejemplo,  $G$  está automáticamente fijado.

| TIPO DE MATERIAL                   | PARAMETROS  |   |  |   |  |                                |   |
|------------------------------------|---|---|--|---|--|--------------------------------|---|
|                                    | PESO ESPECIFICO<br>$\gamma \left( \frac{MN}{m^3} \right)$ | COEFICIENTE DE POISSON<br>$\nu_1 = \nu_2$ | MODULO DE ELASTICIDAD<br>$E_1 = E_2 (MPa)$ | RESISTENCIA A COMPRESION<br>$\sigma_x = \sigma_y (MPa)$ | RESISTENCIA A TRACCION<br>$T_x = T_y (MPa)$<br>$T_x = \sigma_1 \cdot \sigma_x$ | MODULO DE RIGIDEZ<br>$G (MPa)$ | RESISTENCIA AL CORTE<br>$\tau_{xy} (MPa)$ |
| A.- CARBON                         | 0,016   | 0,45                                      | 5.000                                      | 10  | 1  | 1.724                          | 1,04                                      |
| B.- PIZARRA FLOJA                  | 0,020   | 0,25                                      | 6.000                                      | 30  | 3  | 2.400                          | 3,14                                      |
| C.- PIZARRA MEDIA                  | 0,023   | 0,20                                      | 11.000                                     | 50  | 5  | 4.583                          | 5,2                                       |
| D.- PIZARRA FUERTE                 | 0,25  | 0,15                                      | 18.000                                     | 70  | 7  | 7.826                          | 7,3                                       |
| E.- ARENISCA                       | 0,027   | 0,15                                      | 23.000                                     | 90  | 9  | 10.000                         | 9,4                                       |
| F.- MADERA                         | 0,009   | 0,40                                      | 800  | 25  | 2,5  | 285                            | 2,63                                      |
| G.- RELLENO SUELTO                 | 0,018   | 0,40                                      | 7  | 0,1   | 0,01   | 2,5                            | 0,014                                     |
| H.- RELLENO CONSOLIDABLE A 24H     | 0,020   | 0,40                                      | 13   | 0,4   | 0,04   | 4,6                            | 0,041                                     |
| I.- RELLENO CONSOLIDABLE A 3 DIAS  | 0,02  | 0,35                                      | 20   | 0,7   | 0,07   | 7,4                            | 0,07                                      |
| J.- RELLENO CONSOLIDABLE A 7 D     | 0,020   | 0,30                                      | 25   | 0,9   | 0,09   | 9,6                            | 0,094                                     |
| K.- RELLENO CONSOLIDABLE A 28 DIAS | 0,020   | 0,30                                      | 30   | 1,2   | 0,12   | 11,5                           | 0,12                                      |

Cuadro nº 9 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL MODELO GEOMECANICO

### 4.3. ANALISIS DE RESULTADOS

Se han hecho diez pasadas por el ordenador hasta conseguir que el contorno del modelo, que no está fijado de antemano, se comporte ante las presiones de una forma acorde con la experiencia práctica.

Las conclusiones que se han obtenido son:

- \* En las inmediaciones de la calle de trabajo, nudo 203, el relleno consolidable tiene un desplazamiento en dirección al frente del taller que es inferior en un 3% por término medio, al que presenta el relleno no consolidable.
  
- \* En esa misma zona el relleno consolidable admite una reacción, en dirección al frente del taller, que es más de 13 veces superior a la que admite el relleno no consolidable.
  
- \* El macizo de carbón en las proximidades de la calle de trabajo, nudo 94, presenta en el caso del relleno consolidable un desplazamiento hacia la calle de trabajo que es del orden del 0,5% inferior al que se produce en el caso del relleno normal.

- \* El macizo de carbón en las proximidades de la calle de trabajo, nudo 94, presenta las mismas reacciones tanto con relleno consolidable como con relleno normal.
  
- \* Al nivel de los nudos del contorno, que están libres, las diferencias entre el modelo con relleno consolidable y el modelo con relleno normal no son significativas.

Estas conclusiones ponen de manifiesto el importante papel que juega el relleno consolidable sobre la distribución de esfuerzos en las proximidades de la calle de trabajo del taller que es donde, de acuerdo con la experiencia práctica, el peligro de las presiones que se producen con el relleno normal es mayor.

En este mismo orden de ideas, PARISEAU (1.976) indica que un relleno consolidable con un módulo de elasticidad de  $700 \text{ Kg/cm}^2$  reduce en un 75% la convergencia que se produce en el tajo.

La estratigrafía del taller que se ha modelizado ha sido recogida arbitrariamente; pero, al estar constituida por los terrenos más representativos del carbonífero asturiano responde a un tipo medio totalmente representativo.



Consecuentemente con las conclusiones obtenidas del modelo geomecánico se puede afirmar que la importancia del papel que juegan los rellenos consolidables será ~~tanto~~ más grande cuanto más desfavorables sean las condiciones de la explotación desde el punto de vista del trabajo del relleno colgado. Así en talleres con techos de muy buena calidad, donde las convergencias sean pequeñas y el relleno normal no pueda mejorar su calidad al fallar el confinamiento, la utilización del relleno consolidable supondrá una garantía total para evitar situaciones críticas. Otro tanto pasará cuando el rozamiento entre el relleno y los hastiales se vea disminuído, ya sea por la poca rugosidad de estos o la presencia de agua, y también habrá una ventaja sustancial cuando exista riesgo de liquefacción del relleno por la influencia de vibraciones producidas por voladuras.

En las condiciones normales el empleo de un relleno consolidable presenta la gran ventaja de poder disminuir las labores de refuerzo de los talleres que resultan imprecindibles, en el momento de colocar el relleno, en los talleres donde se emplea relleno normal. Esto está perfectamente ilustrado en las figs. nº 10 y 11 en las que se muestran, respectivamente, los elementos que han plastificado, al aplicar el 71% de la carga final, en el caso de que se emplee un

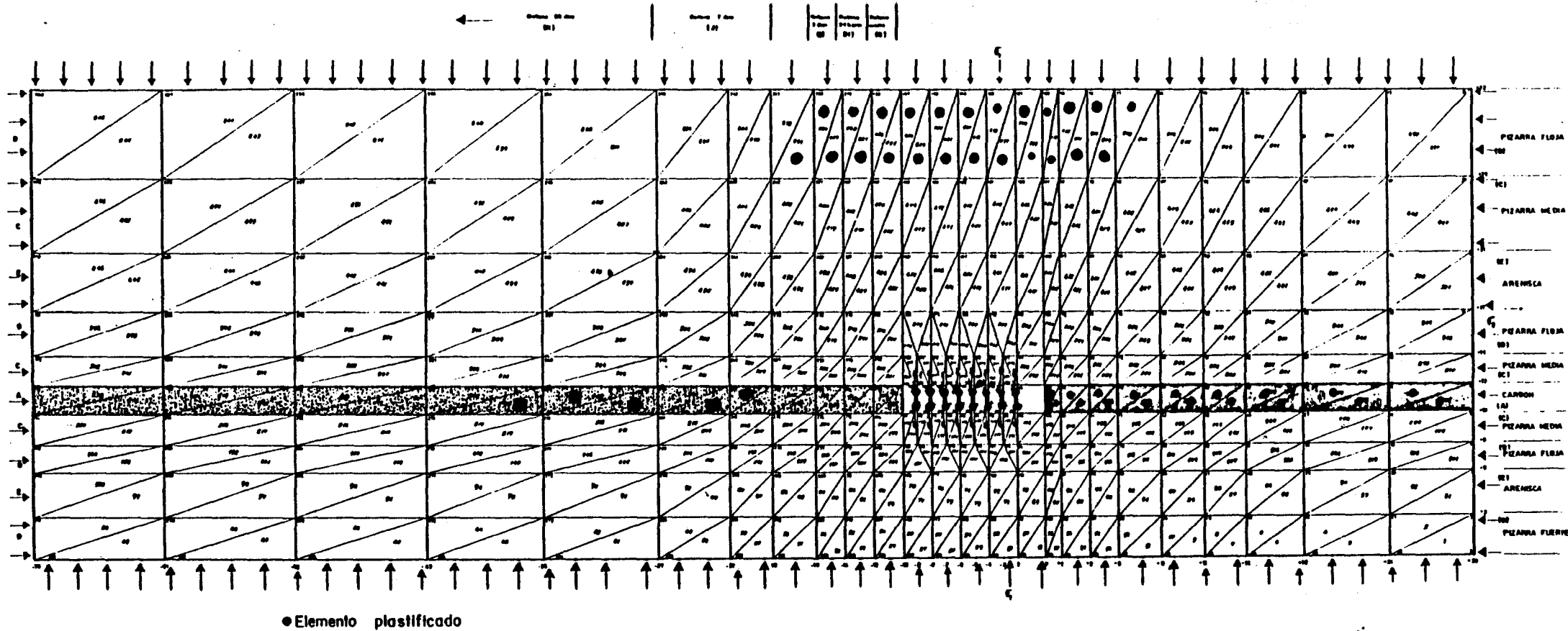


Fig. 10.- ELEMENTOS PLASTIFICADOS EN EL TALLER CON RELLENO CONSOLIDABLE AL APLICAR EL 17% DE LA CARGA.

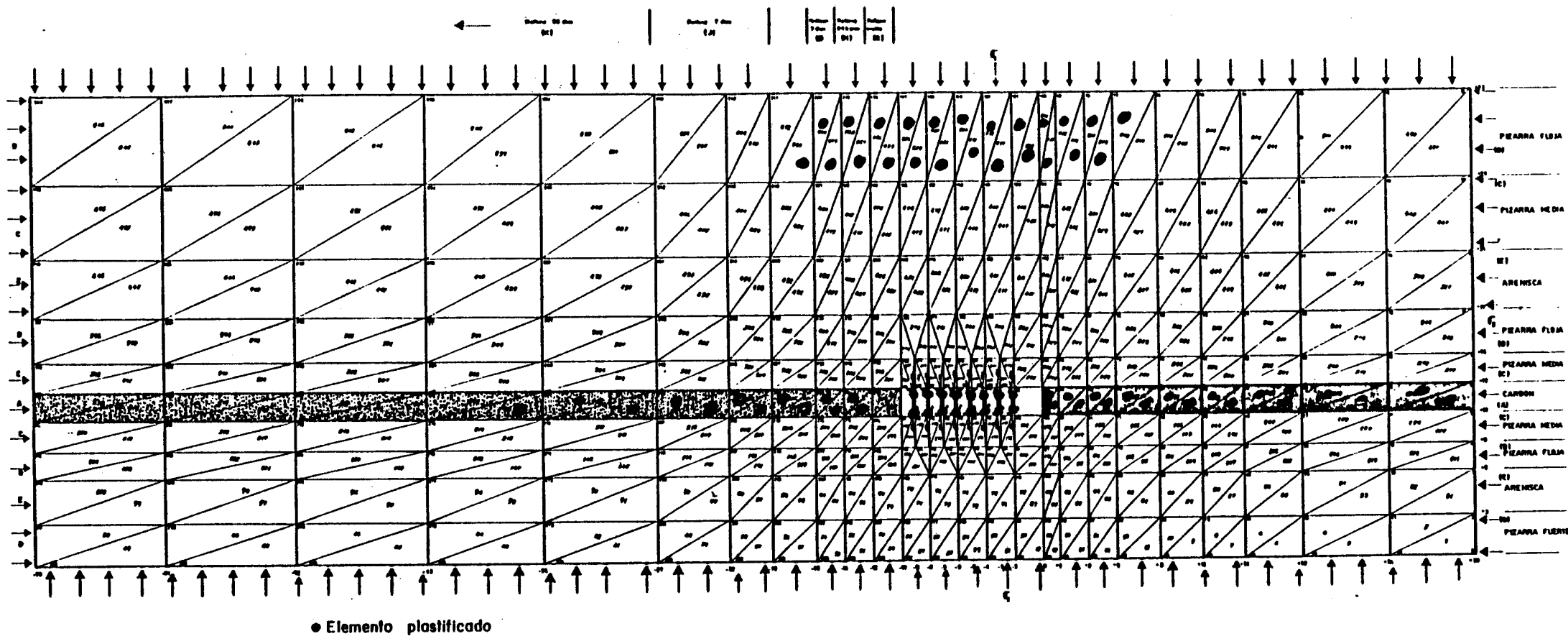


Fig. 11.- ELEMENTOS PLASTIFICADOS EN EL TALLER CON RELLENO NORMAL AL APLICAR EL 17% DE LA CARGA.

relleno consolidable y un relleno normal. Puede apreciarse claramente que, a pesar de que las condiciones de plastificación de la capa de carbón no varían cualitativamente, en el relleno los elementos que han plastificado cerca de la calle de trabajo, son mucho menores en el caso de rellenos consolidables que en el caso de emplear rellenos normales.

#### 5.- CONCLUSIONES.

El relleno juega un papel muy importante en la explotación de las capas muy inclinadas de carbón de tal forma que si se logra disponer de un relleno de unas características resistentes idóneas a un precio de coste adecuado se podrían realizar notables avances en la mecanización de este tipo de capas.

Las técnicas de laboreo con rellenos autoconsolidables son muy conocidas en la minería metálica y, basándose en ellas, el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA ha realizado una investigación para producir rellenos autoconsolidables empleando como materia prima los estériles de la minería del carbón.

Como resultado de las investigaciones realizadas puede afirmarse que es posible producir, con los estériles de la minería

del carbón, un relleno consolidable que satisface ampliamente las condiciones recomendadas por el U.S. Bureau of Mines y cuyo precio de coste resulta muy competitivo en la situación actual.

La continuación de esta investigación es una fase de aplicación abrirá un camino prometedor para el progreso en la mecánica de las capas inclinadas de carbón.

---