



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**Escuela de
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

Máster en Ingeniería de Minas



Trabajo Fin de Máster

**“Control y prevención de fenómenos gaseodinámicos
con aplicación práctica en un taller con entibación
hidráulica autodesplazable del pozo Carrio”**

Autor: Miren Josu Álvarez Amigo

Tutor: Isidro Diego Álvarez

Oviedo, mayo de 2016



AGRADECIMIENTOS

Debo resaltar mi agradecimiento a Javier Cabal Sánchez, Jefe del Servicio de Fenómenos Gaseodinámicos de HUNOSA, por su gran ayuda, paciencia, colaboración y su esfuerzo e interés, todo ello ha sido un pilar imprescindible para la realización de este Trabajo Fin de Máster.

A “Los Fenómenos” por su trato personal hacia mí y su ayuda desinteresada en todo momento.

Al tutor de este proyecto, Isidro Diego Álvarez, por la orientación y la flexibilidad que me ha dado a la hora de realizar este trabajo.

A mi familia, amigos y compañeros por su apoyo, que ha sido imprescindible para llegar hasta aquí.



ÍNDICE

Índice de imágenes	4
Índice de tablas.....	5
Índice de gráficas	5
Introducción	6
Objetivo	8
Capítulo 1: aplicación práctica de control y prevención de fenómenos gaseodinámicos a un taller con entibación mecánica autodesplazable del pozo carrio	9
1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	9
2. ENTIBACIÓN MECÁNICA AUTODESPLAZABLE	9
3. CONTROL DE FENÓMENOS GASEODINÁMICOS	10
4. PREVENCIÓN DE FENÓMENOS GASEODINÁMICOS	28
9. RESULTADOS	38
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
11. CONCLUSIONES.....	56
Bibliografía	57
Anexos.....	58
Anexo I: control de los fenómenos gaseodinámicos. Fundamento teórico.....	58
Anexo II: control de los fenómenos gaseodinámicos. Metodología.	64
Anexo III: prevención de fenómenos gaseodinámicos. Métodos de prevención.	79
Anexo IV	85
ESPECIFICACION TECNICA 0308-5-92. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DESORBIBLE DE GRISÚ EN CAPA85	
Anexo V	93
ESPECIFICACION TECNICA 0307-6-92 MÉTODO DE MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE DESORCIÓN (v1) DEL GRISÚ.....	93



ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Estado de fuerzas en una roca con equilibrio.	11
Imagen 2: Estado de fuerzas en una roca con inequilibrio	11
Imagen 3: Tensiones en el frente antes de abrir el hueco.	12
Imagen 4: Tensiones en el frente después de abrir el hueco	12
Imagen 5: Fase 1 de inestabilidad.	12
Imagen 6: Fases 2, 3, 4, 5 y 6 de inestabilidad.	13
Imagen 7: Situación con hastial fuerte (izqda.) y con hastial débil (drcha.)	15
Imagen 8: Efecto en las tensiones de una capa égida.....	16
Imagen 9: Capa sin explotar	17
Imagen 10: Inicio de la explotación.....	17
Imagen 11: Desarrollo de la explotación.....	18
Imagen 12: Primer hundimiento.	18
Imagen 13: Comienzo del nuevo ciclo.....	19
Imagen 14: Nuevo hundimiento.	19
Imagen 15: Estructura inicial de la capa de carbón	22
Imagen 16: Aumento en la presión de confinamiento	23
Imagen 17: Grietas cerradas por aumento de presión.	23
Imagen 18: Reducción progresiva de la zona de retención.....	25
Imagen 19: Gas confinado en los poros.....	26
Imagen 20: Rotura de los poros.....	26
Figura 21: Liberación del gas.....	27



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelo de recopilación de datos de las pruebas con cálculos realizados.....	39
Tabla 2: Resumen de resultados obtenidos en la galería de base	40
Tabla 3: Resumen de resultados obtenidos en la galería de cabeza	42

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Sondeo 7875. Elaboración propia.....	44
Gráfica 2: Sondeo 7994. Elaboración propia.....	44
Gráfica 3: Sondeo 8220. Elaboración propia.....	45
Gráfica 4: Sondeo 8311. Elaboración propia.....	45
Gráfica 5: Sondeo 8382. Elaboración propia.....	45
Gráfica 6: Sondeo 8396. Elaboración propia.....	46
Gráfica 7: Sondeo 8412. Elaboración propia.....	46
Gráfica 8: Sondeo 8467. Elaboración propia.....	46
Gráfica 9: Sondeo 8475. Elaboración propia.....	47
Gráfica 10: Sondeo 8492. Elaboración propia.....	47
Gráfica 11: Sondeo 8498. Elaboración propia.....	47
Gráfica 12: Sondeo 8562. Elaboración propia.....	48
Gráfica 13: Sondeo 8058. Elaboración propia.....	49
Gráfica 14: Sondeo 8132. Elaboración propia.....	49
Gráfica 15: Sondeo 8137. Elaboración propia.....	49
Gráfica 16: Sondeo 8141. Elaboración propia.....	50
Gráfica 17: Sondeo 8199. Elaboración propia.....	50
Gráfica 18: Sondeo 8211. Elaboración propia.....	50
Gráfica 19: Sondeo 8429. Elaboración propia.....	51
Gráfica 20: Sondeo 8324. Elaboración propia.....	51
Gráfica 21: Sondeo 8393. Elaboración propia.....	51
Gráfica 22: Sondeo 8403. Elaboración propia.....	52
Gráfica 23: Sondeo 8417. Elaboración propia.....	52
Gráfica 24: Sondeo 8471. Elaboración propia.....	52
Gráfica 25: Sondeo 8483. Elaboración propia.....	53
Gráfica 26: Sondeo 8502. Elaboración propia.....	53
Gráfica 27: Sondeo 8538. Elaboración propia.....	53



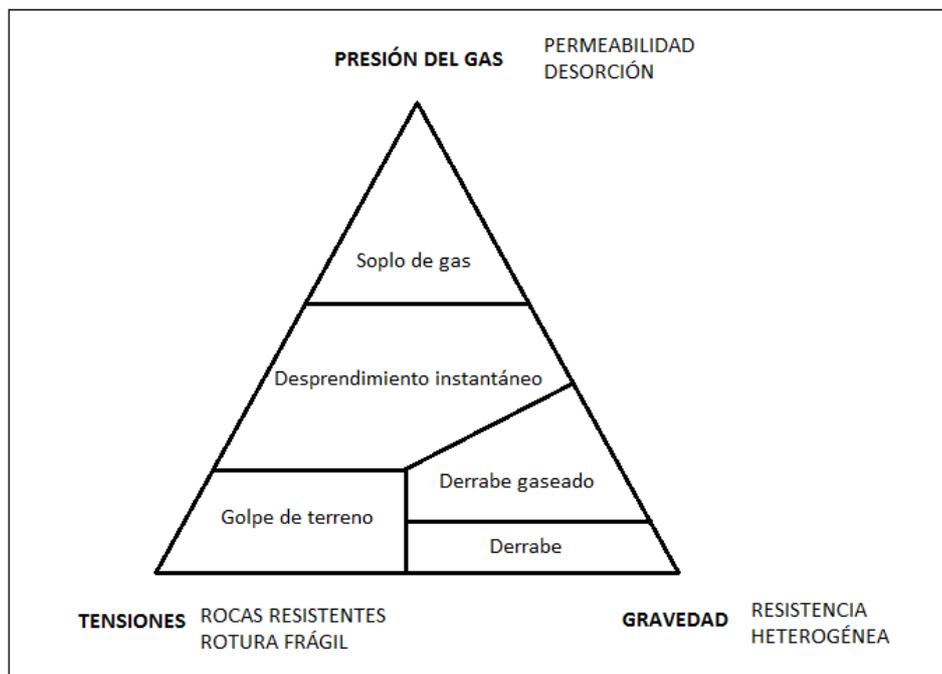
INTRODUCCIÓN

Los fenómenos gaseodinámicos son uno de los riesgos más importantes que afectan a la estabilidad del frente de carbón. Este nombre engloba un conjunto de situaciones en las que, de forma súbita, debido a las condiciones energéticas existentes que son liberadas, se desencadena un proceso de proyección de carbón, acompañado de un importante desprendimiento de gas.

Estas condiciones vienen dadas por la interacción de, al menos, los tres factores que se indican a continuación:

- El estado tensional.
- La presión del gas.
- La gravedad.

Los fenómenos gaseodinámicos comprenden un amplio abanico de incidentes, desde el derrabe con grisú hasta los desprendimientos instantáneos. Esto causa la existencia de un alto riesgo de enterramiento por carbón, de formación de una atmósfera irrespirable y de formación de una atmósfera explosiva. En la siguiente imagen se muestran las posibles evoluciones de las condiciones energéticas:





En la Cuenca Central Asturiana, este tipo de accidentes son frecuentes debido a la geología presente en la zona. Existen capas de carbón en las que estos fenómenos se producen reiteradamente y en casos concretos pueden producir accidentes graves, aunque también pueden darse repentinamente en capas de carbón en las que no han aparecido indicios previos.

Para evitar accidentes producidos por estos fenómenos surgen una serie de procedimientos de control y prevención mediante los cuales se observa y se trata el macizo rocoso. Estos procesos han sido perfeccionados con el paso del tiempo produciendo una notable disminución de los accidentes relacionados con fenómenos gaseodinámicos.



OBJETIVO

El objetivo del siguiente Trabajo Fin de Máster es la realización de un análisis exhaustivo de los fenómenos gaseodinámicos que pueden darse en una explotación de carbón.

Se recopilan en este documento los fundamentos teóricos de este tipo de fenómenos, además de los procedimientos de control y prevención existentes para luchar contra los mismos.

Para una mayor profundización, el estudio se realiza en concreto para un taller con entibación mecánica autodesplazable de la Mina Carrio, posesión de la empresa Hulleras del Norte S.A. Es necesaria la comprensión de la ubicación geológica de la explotación y la complejidad que presenta la capa a tratar.

Se desarrolla, por lo tanto, el procedimiento seguido en la marchante para controlar los niveles de gas y el empleo para la desgasificación y distensión del terreno. Se evalúan los datos obtenidos y se analizan estableciendo las conclusiones adecuadas.



CAPÍTULO 1: APLICACIÓN PRÁCTICA DE CONTROL Y PREVENCIÓN DE FENÓMENOS GASEODINÁMICOS A UN TALLER CON ENTIBACIÓN MECÁNICA AUTODESPLAZABLE DEL POZO CARRIO

1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Desde el punto de vista geológico puede definirse el techo observado, como constituido por pizarras y pizarras arenosas con un moderado contenido en fracción arenosa. Por tanto, su abrasividad es de orden medio/bajo. Cuentan además estos niveles con cierto contenido en carbonatos, que se manifiestan, en ocasiones, como un bandeado.

El muro es muy consistente, constituido por pizarras arenosas a muy arenosas, que incluyen a veces areniscas de grado fino, de moderada abrasividad.

En su conjunto, no se ha observado una fracturación de los hastiales importante, manifestando las secciones descritas una notable competencia.

2. ENTIBACIÓN MECÁNICA AUTODESPLAZABLE

El sistema de explotación será mediante entibación mecánica autodesplazable.

La longitud media del frente será de 110m. Se explotará siempre en retroceso. El sistema de explotación será por frente único entre las galerías de base y cabeza, no se dejarán macizos de protección en los hastiales de estas galerías. La cabeza se abandonará al avanzar el Tajo. El tratamiento pos taller será por hundimiento.

La mecanización estará constituida por un complejo mecanizado integral. El circuito de transporte del bruto arrancado estará constituido por un transportador blindado.



3. CONTROL DE FENÓMENOS GASEODINÁMICOS

Es necesario hacer mención de la dificultad que conlleva la prevención de FGDs, esta se debe por una parte a la gran heterogeneidad del carbón y por otra al gran número de variables que intervienen. Este gran número de variables ha hecho que tradicionalmente sean considerados imprevisibles; se busca en este análisis un cambio de esta visión de que un FGD es fruto del azar.

Se puede definir un FGD como un desprendimiento relativamente súbito de una mezcla de carbón y/o grisú en una cara libre de carbón que puede ser un avance o un frente de explotación.

En todo frente de carbón existe un estado de equilibrio entre las presiones del terreno y del gas. Dicho equilibrio, que suele ser inestable, evoluciona progresivamente hacia la estabilidad mediante la deformación de las rocas y del carbón generando la convergencia de la galería y la emisión continua de grisú. A veces dicho proceso se detiene sin alcanzar la estabilidad, es decir, permanece una energía acumulada que finalmente puede acabar liberándose de forma violenta es decir en forma de FGD.

Se puede hablar de tres tipos de FGD, dependiendo de las cantidades relativas de gas y carbón desprendido:

- “Soplo de gas” cuando solamente se producen desprendimientos de gas.
- “Golpes de techo” cuando el fenómeno se produce únicamente como consecuencia de las presiones.
- “Desprendimiento Instantáneo” (DI) cuando en él intervienen ambos componentes en similares proporciones.

Puede concluirse que la situación de riesgo que da lugar a un FGD se crea cuanto existe un estado tensional inestable junto con una mayor concentración de metano en el carbón.

A continuación, se analizarán cada uno de estos factores independientemente para ver cómo se generan y que pasa cuando se combinan.



MODELO DE COMPORTAMIENTO DE LAS ROCAS

ESTADO TENSIONAL DEL TERRENO

El estado tensional del terreno da lugar a regiones sobretensionadas en las que los avances de guías pueden ser peligrosos.

Se parte de la consideración de una roca compuesta por un conjunto de bloques ordenados de tal forma que, antes de iniciar cualquier excavación, cada bloque tiene un equilibrio entre las fuerzas verticales debidas al peso de la roca que tiene encima y las horizontales debidas al apoyo sobre los bloques adyacentes.

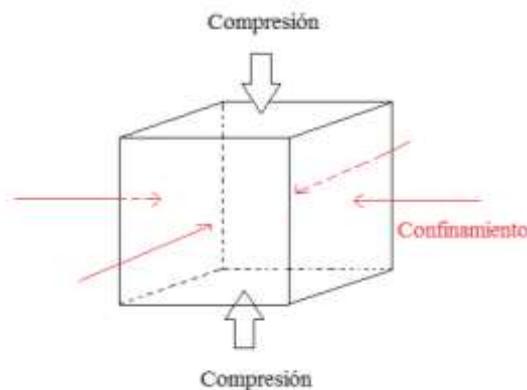


Imagen 1: Estado de fuerzas en una roca con equilibrio. Fuente: propia

Cuando se abre una explotación, el peso que soportaban los bloques eliminados no desaparece y por tanto se distribuye al resto de los bloques, se puede decir entonces que todo el entorno del hueco excavado se inestabiliza. La imagen siguiente muestra cómo quedaría el estado de fuerzas de un bloque situado en el hastial de una galería.

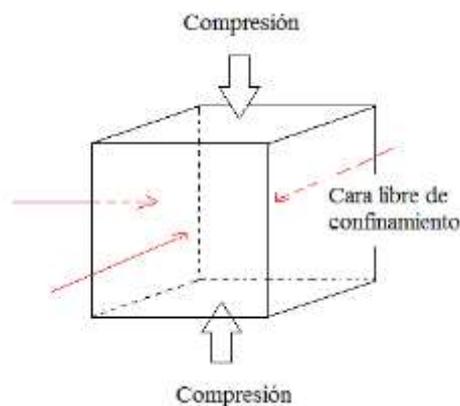


Imagen 2: Estado de fuerzas en una roca con inestabilidad. Fuente: propia



Como forma de comprender lo que ocurre al abrir un hueco en el macizo rocoso se muestra a continuación una imagen con una fila perpendicular y horizontal respecto al hastial de la galería compuesta por los bloques teóricos que forman el macizo antes de abrir el hueco.

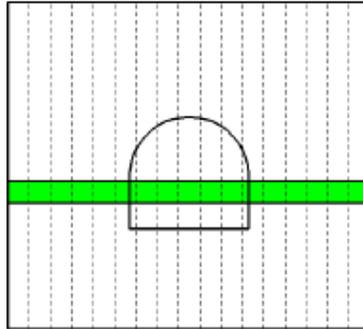


Imagen 3: Tensiones en el frente antes de abrir el hueco. Fuente: Resumen de Investigación de FGD

La imagen siguiente muestra la situación de inestabilidad que se produce justo después de abrir la galería.

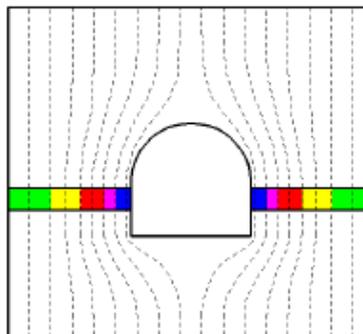


Imagen 4: Tensiones en el frente después de abrir el hueco. Fuente: Resumen Investigación de FGD

Los bloques azules son los más inestables debido a que ha desaparecido su confinamiento lateral y se ha multiplicado su carga vertical.

Se muestra a continuación la situación de inestabilidad producida con más detalle:

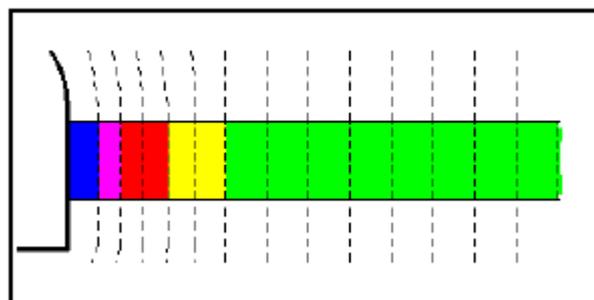
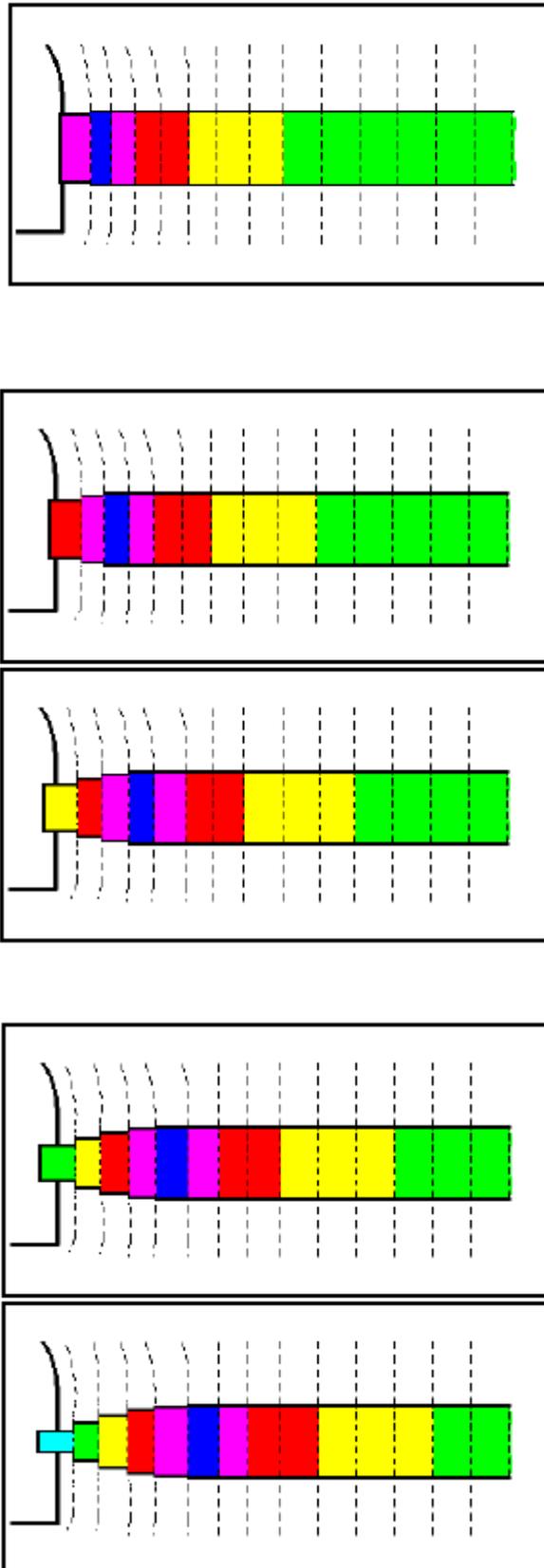


Imagen 5: Fase 1 de inestabilidad. Fuente: Resumen de Investigación de FGD



*Imagen 6: Fases 2, 3, 4, 5 y 6 de inestabilidad.
Fuente: Resumen de Investigación de FGD*



Se observa que los elementos más tensionados son los inmediatamente contiguos al hueco extraído, al no poder soportar esta situación en la que la tensión vertical se ha incrementado mientras que la horizontal se ha reducido a cero el elemento se deforma.

Al deformarse elastoplásticamente deja de soportar carga vertical, pero como esta no cambia ya que se debe al peso de la roca que hay encima lo que hace es desplazarse.

Este estado tensional puede no ser estable, es decir el elemento de la superficie aún tiende a deformarse, así como el inmediato, desplazando parte de la carga que soportan hacia los elementos más profundos.

Pueden darse tres tipos de equilibrio:

Equilibrio estable con deformación elástica

Es el caso de los túneles sin sostenimiento en las carreteras en los que la deformación continúa hasta que todos los elementos alcanzan un equilibrio y la deformación se detiene.

Equilibrio con deformación plástica

En este caso la deformación también se detiene, pero requiere aplicar un sostenimiento que ayude a generar un primer esfuerzo horizontal de confinamiento desde el hueco que ayude a cada elemento a soportar mayor esfuerzo vertical. Es propio de los túneles profundos o bien en explotaciones estériles en las que, incluso tras años de deformación, el sistema se estabiliza.

No se alcanza el equilibrio

En este caso la roca es muy poco competente y la deformación causa su rotura de forma que se anula totalmente su capacidad portante; en este caso deformación continuaría indefinidamente hasta que la galería se autorrellenará y el hueco desapareciera. Es el caso de algunas de las guías de esta empresa en las que el sostenimiento (arcos metálicos de fricción) busca frenar dicha convergencia el tiempo suficiente para realizar nuestra explotación de forma segura. El sostenimiento necesario para aguantar el equilibrio en este tipo de rocas sería muy fuerte.



Estados tensionales creados por labores en la propia capa

En el apartado anterior se ha descrito los efectos que generan las diferentes distribuciones de las tensiones en torno a una labor, sin embargo, se debe tener en cuenta también la importancia de otras labores de explotación cercanas que también crean huecos y por tanto regiones sobretensionadas. Puede darse el caso de que un avance atraviese una de estas regiones alterándose de este modo su propio estado tensional.

Debido a estos efectos surge la primera variable que influye en el riesgo de FGD: la carga de rotura de los hastiales.

Estudios realizados en las diferentes explotaciones de HUNOSA, hacen llegar a la conclusión de que las explotaciones que poseen los hastiales con mayor carga de rotura, así como falsos techos o muros de escasa envergadura son más propensas a FGD.

A continuación, se muestra una imagen ilustrativa de una situación real:

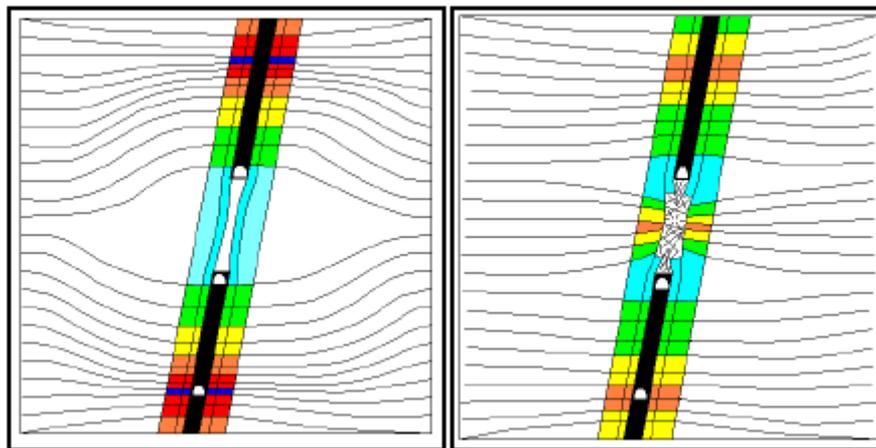


Imagen 7: Situación con hastial fuerte (izqda.) y con hastial débil (drcha.)

Se observa en la figura de la izquierda que el hueco creado permanece sin hundir, por lo que la carga que debería apoyarse sobre el carbón extraído se reparte sobre la parte superior e inferior de la explotación, generando sendas regiones de sobretensión. El avance no estaría entonces a presión natural, en el caso del dibujo estaría a una sobretensión máxima. Tanto la sobretensión máxima como su ubicación dependerían de las deformaciones relativas de la roca y del carbón.



Por otro lado, en la figura de la derecha que muestra una explotación con los hastiales poco competentes que generan buen autorrelleno. En este caso, tras extraer el carbón, la carga lateral encuentra un nuevo apoyo en el autorrelleno y las presiones se transmiten en menor cantidad hacia las partes superior e inferior de la explotación con lo que la sobrepresión a la que avanza nuestra nueva galería es menor.

Estados tensionales creados por labores de otra capa

La capa égida es un buen sistema de prevención de fenómenos gaseodinámicos puesto que sirve para redistribuir las tensiones. Se aprecia en la imagen que las explotaciones no solamente generan zonas de sobretensión, sino también zonas distendidas, que se corresponden a las áreas en las que se ha abierto el hueco (en color azul) y que de la misma forma también pueden afectar a las demás capas, se tiene entonces el efecto de la capa égida.

Se debe señalar que es un método costoso, puesto que implica la explotación de otra capa que puede no ser rentable.

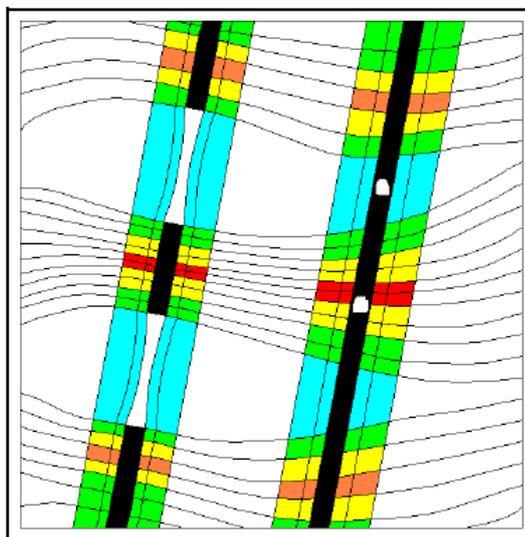


Imagen 8: Efecto en las tensiones de una capa égida



Estados tensionales dinámicos

Las diferentes fuentes de sobretensión vistas hasta ahora tienen en común su carácter estático, sin embargo, en una explotación cualquiera, las sobretensiones cambian constantemente debido a la creación continua de hueco y a su hundimiento bien irregular o periódico.

En las siguientes imágenes, se muestra como una explotación puede generar ondas de sobrepresión variables tanto en intensidad como en extensión.

- ✓ Fase 1: Es la situación de partida, se tiene un panel de explotación aun sin explotar. Las tensiones son naturales y constantes (solamente dependen de la profundidad).

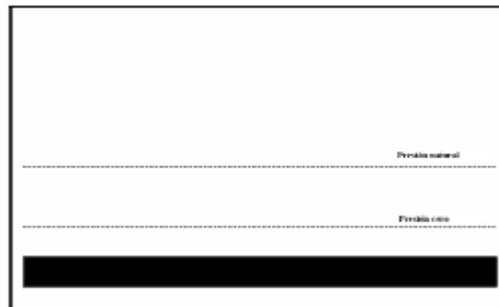


Imagen 9: Capa sin explotar

- ✓ Fase 2: Inicio de la explotación. El hueco inicial no hundirá hasta que su amplitud sea suficientemente grande para que los hastiales no resistan el esfuerzo flector. Desde el primer instante comienzan a generarse zonas sobretensionadas alrededor del hueco abierto.

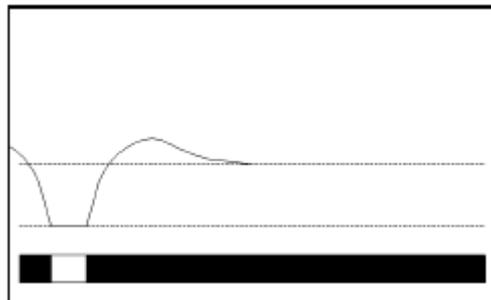
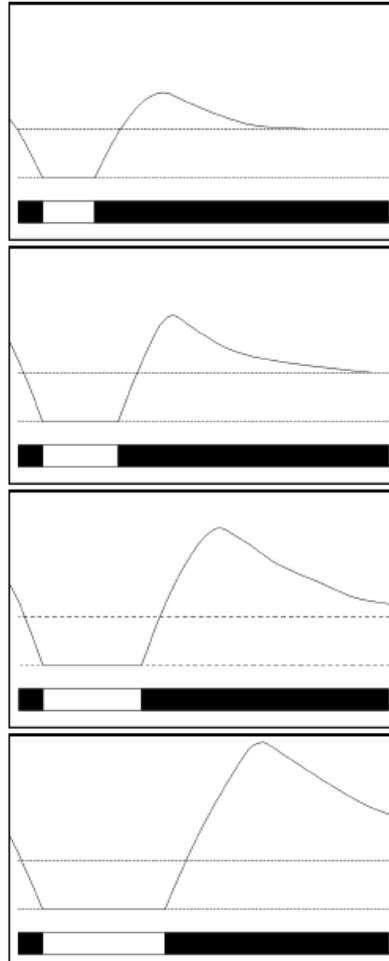


Imagen 10: Inicio de la explotación



- ✓ Fase 3: Continuación de la explotación, el hueco aun sin hundir genera sobretensiones mayores tanto en intensidad como en extensión.



*Imagen 11: Desarrollo de la explotación.
Fuente: Resumen de Investigación de FGD*

- ✓ Fase 4: El vano creado es tan grande que los hastiales acaban hundiéndose con lo que parte del hueco rellenado vuelve a ejercer de apoyo, aunque más débil que el carbón original.

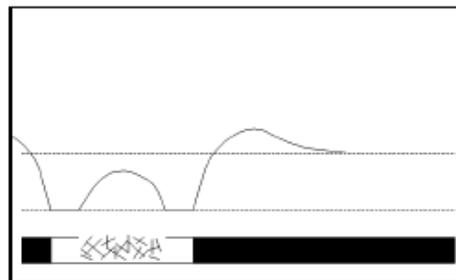
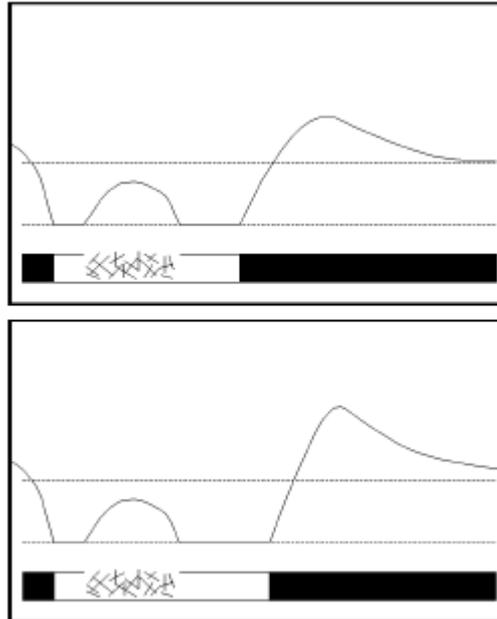


Imagen 12: Primer hundimiento. Fuente: Resumen de Investigación de FGD

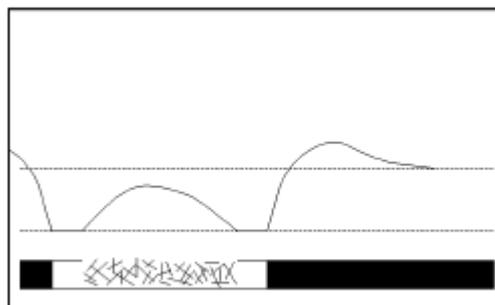


- ✓ Fase 5: Continuación de la explotación y comienzo del nuevo ciclo. Aumenta del hueco sin hundir y con ello las sobrepresiones.



*Imagen 13: Comienzo del nuevo ciclo.
Fuente: Resumen de Investigación de FGD*

- ✓ Fase 6: En este caso la siguiente rotura se produce a un menor vano, ya que los hastiales ya no están ahora doblemente apoyados.



*Imagen 14: Nuevo hundimiento. Fuente:
Resumen de Investigación de FGD*

Estados tensionales provocados por estrechones

La presencia de estrechones en una capa de carbón modifica el estado tensional habitual que hay en torno al frente de avance; la máxima sobretensión se acerca al frente e incrementa de valor, es decir se produce una debilidad por la que puede comenzar un FGD.



EL GAS EN EL CARBÓN

Para la evaluación del gas en el carbón se debe partir de la enorme heterogeneidad de la estructura del carbón por ello, se adoptará la siguiente simplificación:

Dentro del seno del carbón tenemos tres tipos de estructuras donde se almacena el gas:

- La fracturación principal. Se trata de grandes fisuras bien comunicadas entre sí por las que el gas puede fluir fácilmente.
- La fracturación secundaria. Se trata de menores fisuras, más cerradas, también comunicadas con las principales, al ser menores el gas sale de ellas más lentamente.
- Poros o fracturas no comunicadas. El gas se encuentra aislado dentro de ellas y la única forma de salir al exterior es por difusión a través de la propia matriz molecular del carbón.

Existe un segundo factor de complejidad; el metano se encuentra almacenado en el carbón en dos fases; una pequeña parte se encuentra en estado gaseoso y otra se encuentra adsorbida a la superficie del carbón.

Por lo tanto, la cantidad de gas que puede almacenar el carbón no solo depende de la presión del gas sino también de la superficie específica del carbón.

Cinética de desorción

Cuando el carbón se expone al aire libre comienza un flujo de gas desde el seno del mismo impulsado por su propia presión, sin embargo, dicho desprendimiento no se produce de forma uniforme ni en el tiempo ni en el espacio. De acuerdo a la propia estructura del carbón, se liberará en primer lugar y de forma rápida, el contenido en la fracturación primaria, luego más lentamente el de la secundaria y finalmente, y ya con mucha lentitud, el gas que se encuentra en la porosidad no comunicada del carbón.



En el procedimiento de análisis de concentración de gas se utiliza este concepto tomando las tres medidas de desprendimiento siguientes:

- Dentro de la mina se mide el gas que se desprende instantáneamente; se denomina Q_1 y para ello se utiliza el desorbómetro.
- Una vez medida Q_1 la muestra se introduce inmediatamente en un recipiente cerrado herméticamente. Durante su transporte al laboratorio continúa el desprendimiento de gas que será Q_2 , es decir el gas que se encuentra en la fracturación secundaria. Dicha cantidad se determina a partir de la concentración de metano en el bote al llegar al lavadero.
- Finalmente, la muestra se muele durante un periodo de unos 10 minutos. El gas que se desprende será Q_3 correspondiente a la fracturación y porosidad no comunicadas.

Combinación de gas y presiones

Tras el análisis de forma independiente del comportamiento de la tensión y la presión del gas, se procede a estudiar los resultados que puede provocar su combinación.

El estado de equilibrio que se presenta en todo frente de carbón tiene dos partes:

1. La parte más cercana al frente, que es la zona de retención; en ella el carbón este desgasificado y no está sometido a muchas sobretensiones. Su estabilidad mecánica es suficiente para hacer de tapón y evitar que el carbón profundo tienda a ceder hacia el frente.
2. La parte más profunda que es la zona que empuja, en ella las sobretensiones mecánicas ya son importantes al igual que las presiones de gas, en esta zona la capacidad mecánica del carbón no es suficiente para aguantar el equilibrio por sí mismo, por ello necesita la zona de frenado, que a pesar de estar plastificado y detener poca resistencia genera suficiente confinamiento para equilibrar la zona que empuja.



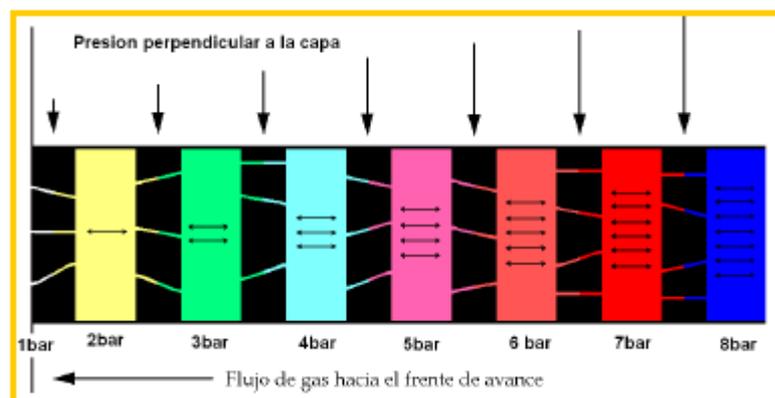
Esta simplificación permite comprender que cualquier efecto que destruya la zona de frenado o retención (como una montadura o una voladura) o que incremente las fuerzas en la zona de empuje como avanzar cerca de una explotación activa puede dar lugar a un FDG.

Se puede hablar entonces de dos posibilidades extremas de alcanzar una situación de riesgo, aquella en la que domina la presión de gas y aquella en la que domina el estado tensional.

Caso 1: incremento del estado tensional de forma moderada

La imagen de partida muestra la estructura de la capa de carbón en la que cada recuadro representa la concentración creciente de gas en profundidad o lo que es lo mismo el gradiente de presiones del grisú (se representan unos valores indicativos).

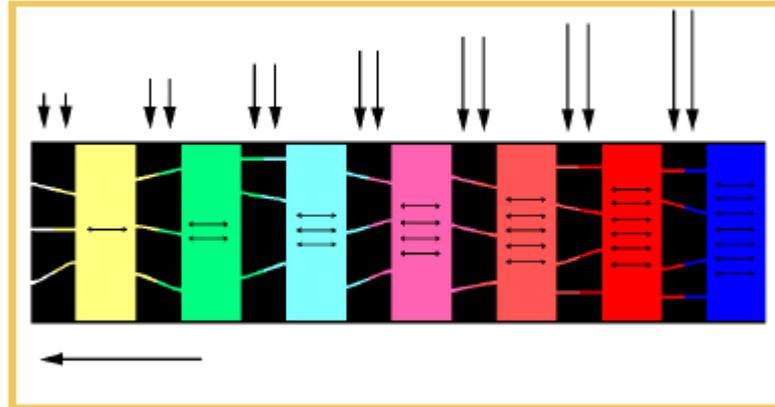
Los canales entre los recuadros representan las fisuras por las que circula el gas hacia la cara libre (izquierda) y las flechas verticales muestran las tensiones que soporta el carbón. Este equilibrio de presiones del terreno y del gas sería el que tendríamos en un avance regular a una velocidad determinada; es decir, tras cada cuadro de avance, el gas fugaría hacia la cara libre y el carbón se deformaría dejando el gradiente de concentraciones y el de tensiones indicados respectivamente. A otra velocidad de avance los gradientes serían diferentes; es fácil comprender que a mayor velocidad de avance hay menos tiempo para la fuga del gas, con lo que se produciría un aumento de las concentraciones.



*Imagen 15: Estructura inicial de la capa de carbón.
Fuente: Resumen de Investigación de FGD*

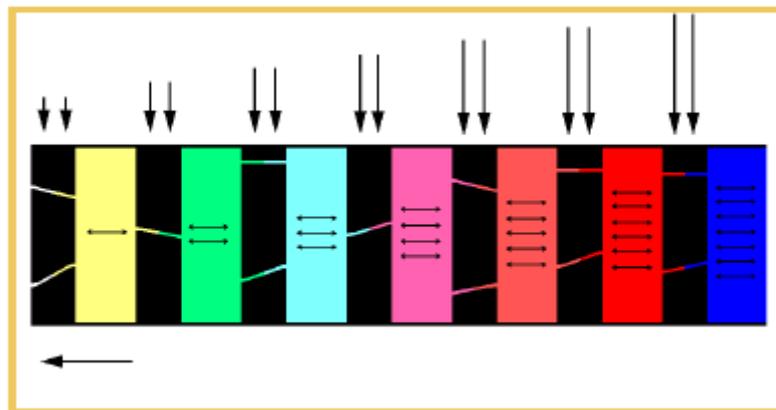


En la siguiente imagen se muestra un supuesto incremento en la presión de confinamiento (doble de flechas verticales). La zona azul y la zona roja indican las altas presiones de gas y de confinamiento, es decir, la zona de empuje se encuentra alejada del frente.



*Imagen 16: Aumento en la presión de confinamiento.
Fuente: Resumen de Investigación de FGD*

El incremento de la presión de confinamiento supone una reducción de la permeabilidad y por tanto del flujo de gas que escapa hacia la cara libre. En la siguiente imagen se muestra el cierre de parte de esas grietas de escape de grisú.



*Imagen 17: Grietas cerradas por aumento de presión.
Fuente: Resumen de Investigación de FGD*



Debido a un ritmo de avance constante, la presión del gas no dispone de tiempo de relajación de un relevo al del avance siguiente, por lo que las zonas de alta presión de metano se van acercando al frente.

Las tres imágenes siguientes muestran este fenómeno, en el que se aprecia una reducción progresiva de la zona de retención. En esta situación llegará un momento en el que los medios de prevención no serán suficientes para mantener una zona de retención adecuada con lo que se perderá el equilibrio y se producirá el FGD.

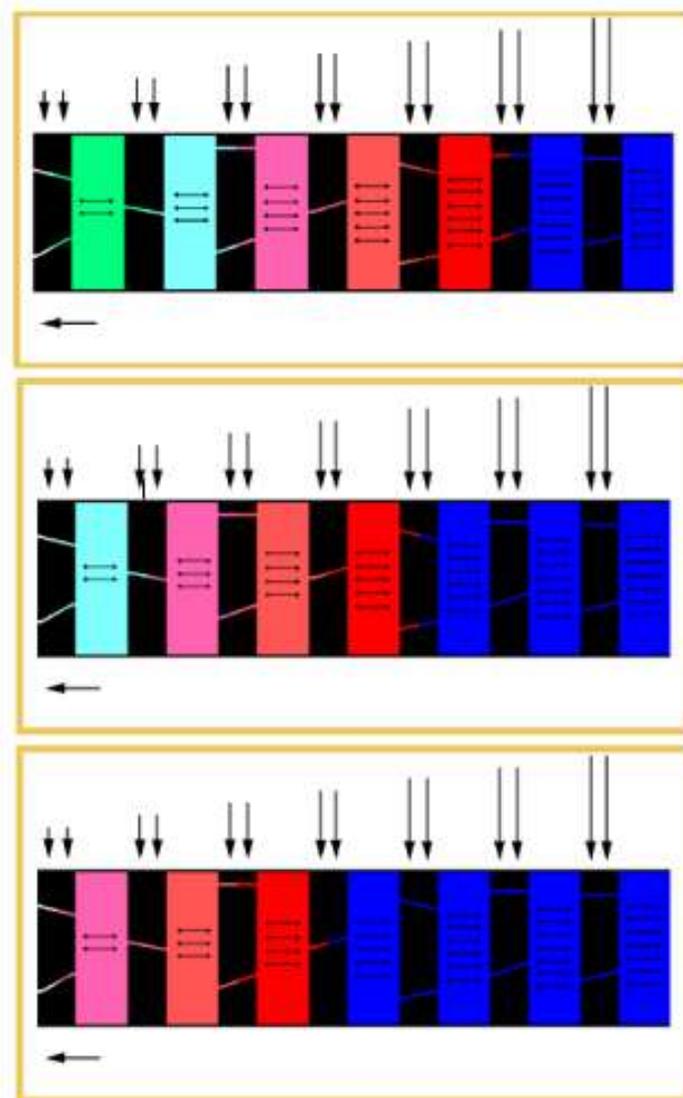


Imagen 18: Reducción progresiva de la zona de retención. Fuente: Resumen de Investigación de FGD



En este caso vemos que la principal fuerza impulsora del FGD sería la presión del gas, por tanto, en estos fenómenos gaseodinámicos el desprendimiento de metano sería elevado.

Las siguientes imágenes muestran ahora como sería un FDG de este estilo. En este caso la estructura del carbón se representa mediante poros donde se almacena el gas por adsorción y las fisuras por las que escapa el gas.

Se tiene entonces un importante gradiente de presiones de gas y una baja circulación de metano por las fisuras. El primer poro se encuentra a una presión ligeramente superior a la atmosférica con lo que la diferencia de presiones no es suficiente para romper la estructura del carbón que mantiene el gas confinado en dicho poro.

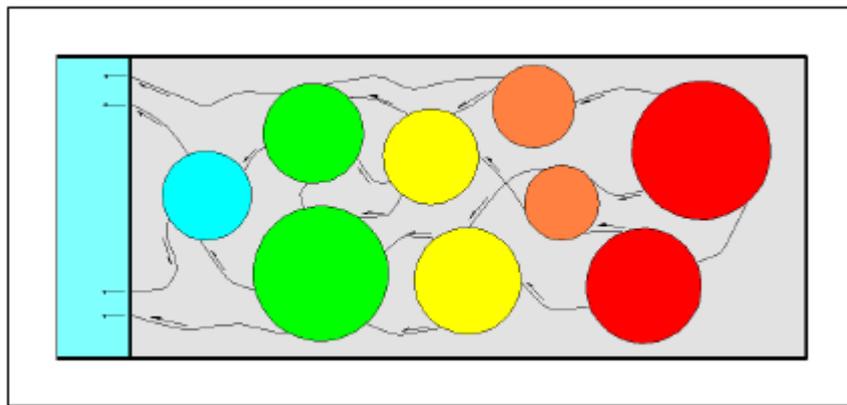


Imagen 19: Gas confinado en los poros. Fuente: Resumen Investigación de FGD

Si se produce una rotura por cualquier motivo en la zona de retención ocurre lo siguiente:

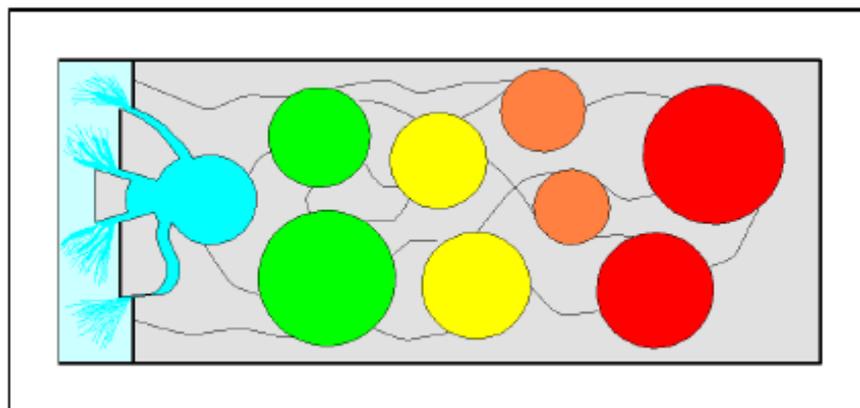


Imagen 20: Rotura de los poros

Al poner el poro azul a presión atmosférica se produce una liberación casi instantánea de ese gas de forma que al pasar al estado de gas se produce un importante aumento de volumen y empuja las partículas rotas hacia el exterior.

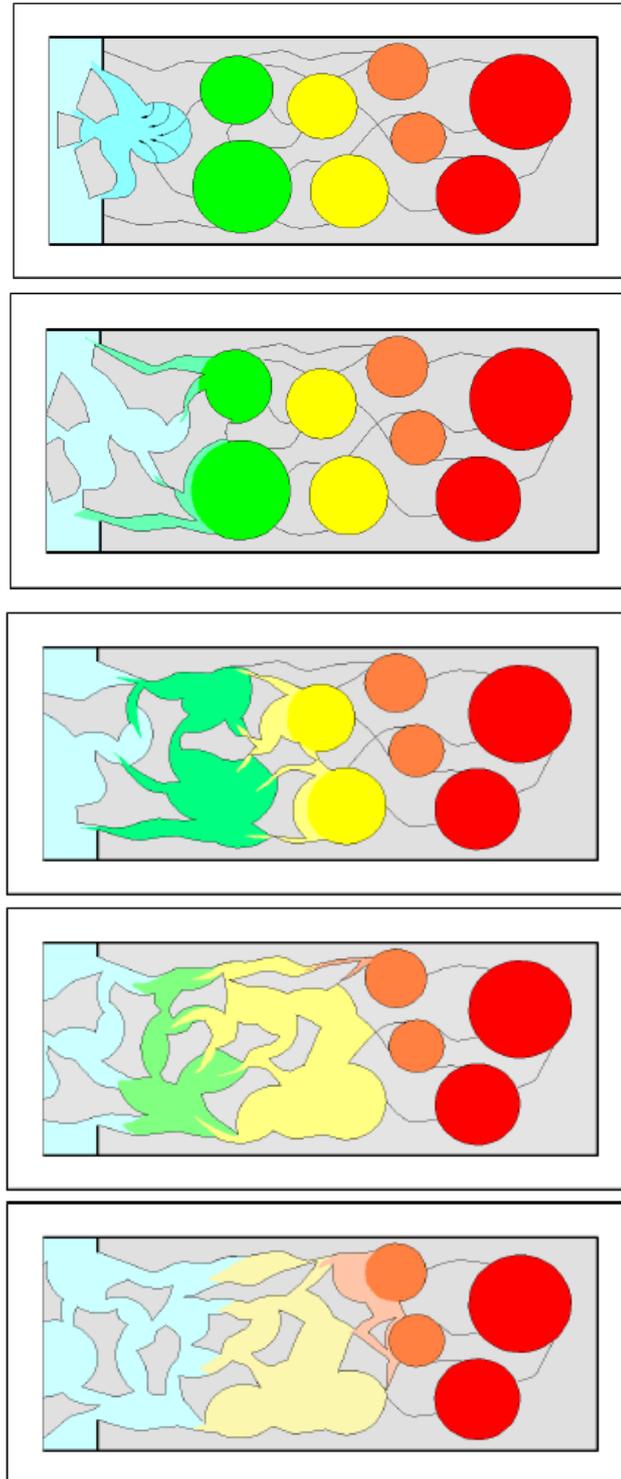


Figura 21: Liberación del gas. Fuente: Resumen de Investigación de FGD



¿Cuándo se detiene entonces el FGD?

Un fenómeno gaseodinámico se detendrá cuando la cantidad de detritus desprendida sea tan grande que atasque el proceso, tras lo cual solamente seguirá el desprendimiento de grisú. Se entiende fácilmente que esta situación genera detritus muy fino porque es la presión del gas la que destruye la estructura del carbón y que da lugar a gran extensión debido al transporte, neumático y la cantidad de metano.

Caso 2: incremento del estado tensional de forma importante

En este caso se va a someter el carbón a un incremento importante de la presión de confinamiento. El punto de partida será una situación intermedia del caso anterior.

El efecto del incremento de presión queda reflejado ahora por grupos de tres flechas verticales.

En este caso ya sin dar tiempo a que se produzca un crecimiento importante del gradiente de concentraciones de metano, se nos produce la rotura mecánica del carbón por supuesto también hay liberación de metano, pero ya en menor cantidad por que no ha dado tiempo a su acumulación en la zona de empuje.



4. PREVENCIÓN DE FENÓMENOS GASEODINÁMICOS

En los controles de fenómenos gaseodinámicos en los que los datos han resultado excesivamente elevados, antes de la continuación de las labores se han llevado a cabo los siguientes métodos de prevención:

- Sondeos de distensión del terreno.
- Inyecciones de agua a presión, cuando con la aplicación de los primeros no ha sido suficiente.

Ambos métodos pueden aplicarse regularmente, aunque no sean necesarios por posibles fenómenos gaseodinámicos.

SONDEOS DE DISTENSIÓN Y DESGASIFICACIÓN

Este método consiste en crear una cavidad en el macizo mediante un sondeo que genera una redistribución de las tensiones internas; este reajuste de tensiones induce una zona fisurada alrededor del sondeo y una zona de sobretensión envolvente de la anterior. Tras la distensión del macizo de carbón por el sondeo, el gas puede fluir a través de las fisuras aprovechando su propia presión, con lo que tiene lugar la desgasificación de la zona afectada por el sondeo.

Dependiendo de la amplitud de la zona distendida, puede obtenerse mayor o menor eficacia.

Esta distensión y desgasificación durante la perforación de los sondeos, pueden producir pequeñas proyecciones de carbón y emisiones de gas.

El intervalo de diámetros usuales para los sondeos de distensión se encuentra entre 95 y 150 mm, pero varían según las prescripciones de la normativa elaborada para cada zona, y según las características mecánicas del carbón y el estado tensional del macizo. Diámetros superiores producirían un efecto mayor de liberación de tensiones, pero podrían dar lugar a micro desprendimientos de carbón y gas.



Los sondeos para la desgasificación de talleres pueden darse según tres esquemas: por la línea de máxima pendiente de la capa, bien ascendentes o descendentes, y horizontales desde el frente de arranque. La longitud de los sondeos será tal que siempre exista una franja de 5 m sondeada por delante de la zona de ejecución de trabajos. Se procurará que todos los sondeos alcancen la misma longitud, de tal modo que el tratamiento resulte homogéneo. El espacio entre los sondeos será de 5 m.

De cada uno de los sondeos se elabora un informe que recoja los parámetros de perforación por cada metro de avance. Se presta especial atención al volumen de finos que se producen, a las emisiones de grisú que tienen lugar, a la dureza del carbón y a cualquier otro tipo de incidencia que debe estar recogida en el citado informe.

Antes del sondeo, se realiza una medida de la concentración de grisú en capa y después del sondeo otra, con objeto de valorar la eficacia del mismo.

INYECCIÓN A ALTA PRESIÓN (IAP)

INTRODUCCIÓN

La inyección de agua tiene como fin evitar o disminuir la concentración de polvo en suspensión en la atmósfera de la mina. Se dirige fundamentalmente a tres acciones principales:

- Evitar en el origen que el polvo se ponga en suspensión.
- Precipitar el polvo que se haya puesto en suspensión.
- Evitar que el polvo precipitado se ponga nuevamente en suspensión.

Para el primer objetivo se aplica la inyección de agua a alta presión y la pulverización de agua sobre los órganos de arranque en avances mecanizados.

- La inyección de agua a alta presión, tiene por objeto la humidificación de la masa de carbón antes de ser arrancado, para evitar que las partículas de mineral susceptibles de ponerse en suspensión durante el arranque y transporte del mineral, queden flotando en la atmósfera.



- La pulverización de agua en avances mecanizados responde a la necesidad de evitar la puesta en suspensión del polvo generado por los órganos de arranque, sobre todo cuando se trate del arranque de estériles no susceptible de inyección.

Para un correcto seguimiento de los otros dos parámetros, se debe evitar el polvo en suspensión y, que el ya precipitado se ponga de nuevo en suspensión. Esto se consigue con las siguientes medidas:

- Utilización de filtros, son equipos cuyo funcionamiento conduce a la precipitación del polvo contenido en el aire que los atraviesa, se colocan en la ventilación.
- Cortinas de agua y cañón de niebla, son equipos instalados en la corriente principal de ventilación, que proyectan agua de diferentes formas, precipitando y fijando el polvo en suspensión.

El objetivo de la inyección de agua en vena es la humidificación de la masa de carbón antes de ser arrancado, evitando de este modo que las partículas de mineral susceptibles de ponerse en suspensión durante el arranque y transporte del taller, queden flotando en la atmósfera.

No se conoce hasta el momento un tipo de inyección ideal, es decir, una forma de inyección que elimine la totalidad de las partículas en suspensión. Se debe hablar de la eficacia de inyección, que será diferente dependiendo de cada tipo de inyección. Se debe de considerar la cantidad, calidad y tamaño de partículas que evitar poner en suspensión.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Para la realización de una adecuada metodología de inyección a alta presión, es necesario definir los siguientes parámetros:

- Características del taller.
- Parámetros a seguir en la IAP.
- Ejecución de la IAP.



Características del taller

La composición química de los constituyentes minerales del carbón, los constituyentes influyen en la inyectabilidad del carbón, en concreto la presencia de materiales impermeables que la dificultan notablemente.

Sistema de explotación, dependiendo del sistema de explotación la zona microfisurada (donde se debe realizar la inyección) estará más o menos distante al frente.

Avance diario del taller, la velocidad de avance al día influye en la frecuencia de inyección.

Composición de los hastiales, si son muy flojos puede penetrar en ellos más fácilmente que en la masa de carbón.

Contenido en grisú, influye en la cantidad de agua inyectada.

Parámetros a seguir en la inyección a alta presión

Longitud de los taladros

La distancia de la zona microfisurada depende de varios factores, como, por ejemplo: el sistema de explotación, el relleno o los hastiales. La longitud mínima del taladro debe ser aquella en la que la cámara de inyección este dentro de la zona microfisurada ya que la inyección en esta zona elimina mayor número de partículas y estas partículas son ponderadamente de $\phi < 5 \mu$, mientras que con la inyección de la zona macrofisurada las partículas eliminadas son en su mayoría $\phi > 5 \mu$.

Con la longitud de taladro por encima de 2.5 m, en la mayoría de los talleres se llega a la zona microfisurada. La longitud del taladro será aproximadamente la longitud de la cánula más 0.5 a 0.75 m.



Distancia entre taladros

La distribución de los taladros debe ser tal que para el avance del taller correspondiente a una tarea de inyección no quede zona alguna sin inyectar, aunque en algunas partes se inyecte dos veces.

La distancia viene marcada por las características del carbón y de los hastiales del taller. La experiencia de los operarios, así como la observación del resultado de la inyección define generalmente este parámetro no obstante y a modo de referencia se da el siguiente modelo:

Se sabe que el agua sale a la cara libre desde la cámara de inyección, según una superficie límite que forma ángulos con la horizontal que varían entre 60° y 70° para talleres por tajo. Con un ángulo de 60° la distancia entre taladros debe ser aproximadamente:

$$d = L\sqrt{3}$$

Siendo d la distancia entre taladros y L la longitud del taladro.

Presión y caudal del agua introducida

En las bombas empleadas para este fin la presión es regulable. Los carbones duros, poco permeables y escasamente fisurados, se inyectan a presiones comprendidas entre 100 y 250 Kg/cm². La utilización de presiones tan elevadas provoca la rotura del macizo y la apertura de grietas por donde fluye el agua con relativa facilidad. Para una capa determinada y una longitud de taladro L, la presión de equilibrio es P₀.

- Si la bomba trabaja a una presión mayor que la de equilibrio tendrá lugar un arranque de carbón prácticamente sin mojar.
- Si la bomba trabaja a una presión inferior a la presión de equilibrio, no hay arranque, dando lugar a mojar la masa de carbón.



Es decir, si se inyecta a una presión excesiva se producirá una rápida rotura del macizo de carbón sin dar tiempo a que “tome” el agua, si por el contrario no alcanzamos la presión adecuada en el macizo no se producirá la apertura de las oportunas grietas, con lo cual introduciremos muy poca agua (poco caudal y un tiempo excesivo).

Las bombas deben por lo tanto regularse a una presión adecuada, que varía en cada capa, se puede considerar como regla práctica que el caudal de agua oscile entre 10 – 13 l/min, lo cual se puede regular con el aire comprimido, si la regulación propia de la bomba es insuficiente.

Conviene que el caudal a inyectar sea el mínimo, pero viene condicionado a la presión de la bomba y la resistencia que opone la masa de carbón a la impregnación; la inyección mejor, es la que se controla por caudal (l / min.), no por presión de agua.

Frecuencia de inyección

El número de veces que se debe inyectar en el mes, debe ser el necesario para impregnar el macizo a arrancar, espaciando las inyecciones regularmente en el tiempo, no siendo considerable la evaporación del agua, (función del tiempo (avance) y superficie libre) de aquí la necesidad de una regularidad en la frecuencia de inyección.

Cada tajo debe inyectarse tantos días como resulte del cociente de dividir el doble del avance mensual por la longitud del taladro; si avanza m metros, el nº de inyecciones es $2 m / L$, espaciados regularmente en el tiempo, así para un avance de 20 m y una longitud de taladro 2.5 m habrá que inyectar $2 \times 20 / 2.5 = 16$ veces para obtener el grado máximo de inyección.

$$N = \frac{2 \times A}{L}$$

Siendo:

N.- avance mensual

L.- longitud del taladro



Tiempo de impregnación

El tiempo de impregnación viene determinado por las características de la capa y presión y caudal del agua; una buena inyección requiere largo tiempo de contacto agua-carbón; nunca se debe detener la inyección hasta que el agua salga de forma franca por el frente.

El tiempo de cada taladro quedará determinado por las características de la capa, oscilando de forma general entre **los 5 y 20 minutos**.

Disposición de los taladros

La influencia en la disposición de los taladros, radica en fenómenos de capilaridad y adherencia, así como en la posible intercalación de estériles impermeables en la masa de carbón y en la consistencia de los hastiales. También la situación de los taladros viene influenciada por consideraciones de seguridad. Siendo fundamentales la pericia y conocimientos de la capa de los operarios.

Por ejemplo, para un taller por tajos de 5 m el taladro debe situarse a 1.5m aproximadamente de la niveladura, y si es posible con una ligera inclinación ascendente (unos 30º) con el fin de llegar más fácilmente a la zona microfisurada.

Ejecución de la inyección a alta presión

En la ejecución de la I.A.P debe tenerse en cuenta el estado del material y la instrucción del personal que ha de realizar la inyección.

La bomba debe estar engrasada y sin fugas de ninguna clase ya que daría lugar a presión no prevista durante la inyección.

Las barrenas no deben tener torceduras considerables para no hacer el taladro de mayor diámetro del normal.

Los tallantes (boca de tenedor) deben estar en perfectas condiciones para que el diámetro sea el previsto.



Las variaciones de diámetro dan lugar a una falta de estanqueidad de la cánula con el taladro.

La instalación de mangueras de alta presión con bifurcaciones o trifurcaciones no debe tener fuga alguna ya que influiría en la presión y caudal de inyección, haciéndolo disminuir notablemente.

El personal debe estar lo suficientemente instruido para realizar estas operaciones con orden, debiendo considerar principalmente los siguientes puntos:

1. Engrasar la máquina y revisar la instalación de alimentación (mangueras, grifos, etc.).
2. Puesta en marcha de la máquina y comprobación de la presión.
3. Engrase de la perforadora rotativa y revisión de su material (manguera, llave, etc.).
4. Perforar el taladro en el sitio adecuado.
5. Introducir siempre una cánula de longitud adecuada que debe ser la del taladro menos 0.5 – 0.75 m, habiendo colocado un descompresor entre el flexible y esta y abrir la llave del agua.
6. No cerrar el agua hasta que salga franca por el frente; salvo el caso especial y raro de prever que el agua se introduce en uno de los hastiales lo cual se nota por ser anormal el tiempo de impregnación, y no sentir “estallar “ el carbón al ser inyectado. Si existe una fisura por donde sale el agua antes de lo previsto dar otro taladro separado de 1 a 2 m.
7. Dejar al final el material en sitio adecuado para que no se deteriore con las labores del relevo siguiente, parando la bomba y cerrando el agua.
8. Seguir las recomendaciones de seguridad que se adjunta en el anexo correspondiente.



CASO PRÁCTICO EN LA AUTOMARCHANTE

Estudio de la inyección

Datos del taller:

Longitud aproximada (L): 108 metros.

Método de explotación: rozadora de tajo con transportador blindado y entibación autodesplazable Glinik. El postaller se lleva por hundimiento controlado.

Avance mensual: trabajaremos con un mes de 20 días y un avance diario de 3,5 m. Esta media es perfectamente realizable por esta rozadora (KGS 245) e incluso superable si las condiciones del taller lo permiten (relación carbón roca que tiene que alcanzar la rozadora, así como una disminución en la pendiente de la capa).

$$\textit{Avance mensual} = 20 \times 3,50 \textit{ m}$$

Datos de la inyección:

Se hacen taladros con barrenas empalmables de 4 m.

Consideramos a efectos prácticos, que la inyección alcanza unos 3,5 m por lo cual la trataremos como una inyección a corta profundidad multicánula, ya que, si la considerásemos a media profundidad, el tiempo de inyección por taladro sería de varias horas (entre 1 y 4).

La inyección se realiza con dos cánulas.

Números de taladros a realizar:

$$d = l\sqrt{3} = 4\sqrt{3} = 6,93 \textit{ metros}$$

$$d = 7 \textit{ metros}$$

$$N = \frac{L}{d} = \frac{108 \textit{ m}}{7 \textit{ m}} = 15,42 \textit{ taladros}$$

$$N = 15 \textit{ taladros}$$

Estudio de tiempos: horas de trabajo del inyector 5 horas y 20 minutos.

- Trasladarse al puesto de trabajo: 90'
- Montaje y desmontaje de equipo: 60'



- Horas efectivas para inyectar: 170' = 2,8 horas.
- Número de taladros que puede inyectar durante 15 minutos con cada cánula: 11 taladros.
- Número de taladros que puede inyectar durante 20 minutos con cada cánula:
 $\frac{170 \text{ min}}{20 \text{ min}} = 8,5 \text{ min} \sim 8 \rightarrow 2 \text{ cánulas} \rightarrow 16 \text{ taladros}$
- El horario del inyector resulta aceptable para conseguir una inyección adecuada en condiciones normales de trabajo.

Frecuencia de inyección (F):

$$F = \frac{2 \times \text{Avance mensual}}{l} = \frac{2 \times 70}{4} = 35 \text{ veces}$$

Para el avance que se obtiene en esta rampla sería aconsejable inyectar dos veces al día, o bien en las labores de preparación incluir una inyección a larga profundidad.

Con esta acción se conseguirá una disminución considerable del polvo producido por el carbón, no así por el producido al rozar la roca. También son muy eficaces en la desgasificación de las capas. Los taladros para la inyección a larga profundidad se podrían dar con la sonda tras el avance del minador, con una cabeza de unos 60 a 100 mm de diámetro. Longitud del taladro 20m y distancia entre los taladros de 15 a 30 m.

En estos taladros se introduce agua a la presión de la red durante varios días, controlando con un caudalímetro el agua introducida (se ha de introducir un caudal de entre 4 y 6 l/m).



9. RESULTADOS

Las medidas y tomas de muestras, al tratarse de una marchante (si es en una guía no existe esta posibilidad), se realizan alternando las pruebas en cabeza y en base. Se muestran a continuación una tabla modelo de los resultados de las pruebas y posteriormente dos tablas recopilatorias de todos los resultados obtenidos en cabeza y en base.

Todos los datos que aparecen en rojo son aquellos cuyos valores han resultado por encima de los límites de seguridad y serán analizados posteriormente.



Tabla 1: Modelo de recopilación de datos de las pruebas con cálculos realizados

TALLER PRIMERA GENERALA DCHA S-5 A S-6	
Cuadro	779
Escudo	62
Potencia de la capa	0,90
Distancia de posteo	Escudos
Inyección	No
Disparos de conmoción	Cada 4 metros

DATOS DE MINA		DATOS DE LABORATORIO	
Presión (mm Hg):	738,75	Presión (mm Hg):	762,00
Temperatura (°C):	25,0	Temperatura (°C):	21,0
Grisú en la mina (%):	0,05		

Profundidad (m)	Q (cm ³ /35s)	Q ₁ (cm ³)	V _{1p} (cm/35s/10g)	Grisú (%)	Q ₂ (cm ³)	Q' ₃ (cm ³)	Q ₃ (cm ³)	m(g)	m ³ (g)	CB (m ³ /tb)	Cenizas (%)	C (m ³ /t)	V ₁
0,0	0,00	0,00	0,00	1,63	16,06	56	58,55	10,71	10,71	6,97	4,47	7,33	1 m 2,00
1,5	1,00	3,40	0,95	1,88	18,65	53	55,41	10,56	10,56	7,34	3,83	7,66	2 m 1,80
3,0	0,90	3,06	0,88	1,93	19,17	62	64,82	10,22	10,22	8,52	8,44	9,39	3 m 1,60
4,5	0,80	2,72	0,77	2,06	20,52	64	66,91	10,38	10,38	8,69	3,05	8,99	4 m 1,20
6,0	0,60	2,04	0,60	1,77	17,51	58	60,64	10,05	10,05	7,98	1,19	8,08	5 m 1,00
7,0	0,50	1,70	0,49	1,72	16,99	61	63,78	10,19	10,19	8,09	2,15	8,29	6 m 0,90
8,0	0,40	1,36	0,37	1,59	15,65	52	54,37	10,77	10,77	6,63	16,57	8,10	7 m 0,80
9,0	0,40	1,36	0,38	1,68	16,58	54	56,46	10,63	10,63	7,00	12,36	8,10	8 m 0,70
												C=8,24	9 m 0,70



Tabla 2: Resumen de resultados obtenidos en la galería de base

Taller 1ª generala derecha (galería de base)				
<u>Sondeo</u>	<u>Escudo</u>	<u>Concentración</u> <u>(m³/tp)</u>	<u>V_i</u> <u>(10g/35s)</u>	<u>V_f</u> <u>(10g/35 s)</u>
7826 (inicial)	Nº701 Escudo 9	3,61	0,5	0,2
7840	Nº 688 Escudo 8	3,66	0,7	0,6
7861	Nº 671 Escudo 34	3,22	0,8	0,4
7868	Nº 660 Escudo 34	5,07	0,9	0,7
7875	Nº 654 Escudo 12	5,41	2,7	1,6
7877	Nº 653 Escudo 17	4,62	0,8	0,5
7883	Nº 653 Escudo 7	6,63	1,4	0,9
7890	Nº 636 Escudo 10	6,38	1,5	0,9
7918	Nº 608 Escudo 17	3,87	0,8	0,5
7939	Nº 585 Escudo 15	7,58	1,1	0,8
7967	Nº 563 Escudo 15	6,88	1,4	0,8
7977	Nº 551 Escudo 24	6,99	1,4	0,8
7983	Nº 546 Escudo 20	8,68	1,8	1,3
7994	Nº 538 Escudo 29	6,63	2	1,1
8007	Nº 530 Escudo 22	8,44	1,5	1,1
8016	Nº 524 Escudo 19	8,2	1,2	1
8030	Nº 515 Escudo 28	8,09	1,6	1,1
8060	Nº 503 Escudo 6	6,54	1,3	1,2
8081	Nº 492 Escudo 15	7,97	1,5	1,1
8156	Nº 492 Escudo 30	7,77	1,6	1,6
8195	Nº 379 Escudo 21	8,32	1,2	1,4
8214	Nº 351 Escudo 22	7,28	1,5	1
8220	Nº 346 Escudo 17	8,4	2,6	2
8227	Nº 342 Escudo 14	6,12	1,8	1,4
8246	Nº 315 Escudo 9	7,32	1,3	1,2
8260	Nº 315 Escudo 10	6,01	1,3	1,3
8268	Nº 302 Escudo 14	7,38	1,4	1,7
8276	Nº 302 Escudo 13	7,13	1,5	1



8289	N° 292 Escudo 21	7,82	1,5	1,5
8294	N° 282 Escudo 11	6,47	1	0,7
8311	N° 275 Escudo 16	8,51	2	1,9
8333	N° 246 Escudo 14	8,71	1,5	1,1
8336	N° 240 Escudo 11	5,93	1,5	0,9
8343	N° 232 Escudo 15	6,42	1,4	1,2
8354	N° 221 Escudo 15	6,49	1,5	0,3
8373	N° 201 Escudo 12	6,22	1,5	1,3
8382	N° 177 Escudo 17	6,91	2,3	1,3
8396	N° 181 Escudo 25	5,38	3,1	0,8
8412	N° 157 Escudo 14	7,02	1,8	2,1
8424	N° 138 Escudo 30	7,25	1,9	0,7
8438	N° 116 Escudo 12	7,28	1,8	0,9
8452	N° 102 Escudo 14	5,55	1,3	1,9
8467	N° 80 Escudo 15	5,05	2	1,6
8475	N° 70 Escudo 19	5,98	2,9	1,7
8488	N° 50 Escudo 26	6,88	1,8	1,5
8492	N° 42 Escudo 26	6,63	2,4	1,4
8498	N° 41 Escudo 30	5,85	2	1,3
8569	N° 37 Escudo 30	6,18	1,6	1,5
8525	N° 34 Escudo 30	4,78	1,5	0,6
8534	N° 30 Escudo 33	6,81	1,2	1,4
8546	N° 25 Escudo 25	4,57	1,7	1
8562	N° 24 Escudo 37	6,98	2,8	1,9
8569	N° 19 Escudo 37	4,15	1,5	1
8589	N° 17 Escudo 26	5,66	1,7	0,6



Tabla 3: Resumen de resultados obtenidos en la galería de cabeza

Taller 1ª generala derecha (galería de cabeza)				
<u>Sondeo</u>	<u>Escudo</u>	<u>Concentración</u> <u>(m³/tp)</u>	<u>V_i</u> <u>(10g/35s)</u>	<u>V_f</u> <u>(10g/35 s)</u>
7824 (inicial)	Nº 885 Escudo 65	4,48	1	0,5
7842	Nº 876 Escudo 66	3,24	0,9	0,6
7859	Nº 865 Escudo 65	4,06	1,5	1,8
7866	Nº 856 Escudo 65	2,82	1	0,9
7874	Nº 856 Escudo 65	4,56	1	0,5
7892	Nº 831 Escudo 65	6,45	0,8	1,4
7916	Nº 806 Escudo 45	5,81	1,2	1,4
7941	Nº 779 Escudo 62	8,24	1,6	0,8
7966	Nº 759 Escudo 43	7,35	0,8	0,8
7970	Nº 751 Escudo 58	6,41	1	0,6
7985	Nº 742 Escudo 55	6,87	1,4	0,4
7996	Nº 734 Escudo 42	6	1,9	1,6
8004	Nº 728 Escudo 58	8,14	1,9	1,1
8014	Nº 722 Escudo 58	8,24	1,5	1,4
8032	Nº 712 Escudo 62	6,82	1,3	0,8
8058	Nº 702 Escudo 67	6,75	2,8	0,9
8076	Nº 692 Escudo 51	6,88	1,8	1
8132	Nº 647 Escudo 69	9,22	0,8	1,2
8137	Nº 641 Escudo 66	9,28	3,1	2,3
8141	Nº 637 Escudo 60	7,76	2,2	1,5
8170	Nº 598 Escudo 70	5,47	1,6	1,4
8199	Nº 573 Escudo 64	5,82	2,1	1,7
8211	Nº 558 Escudo 52	6,74	2,2	1,8
8241	Nº 468 Escudo 58	6,18	1,6	0,8
8251	Nº 502 Escudo 67	8,89	0,8	1,8
8265	Nº 483 Escudo 72	8,56	1,5	1,6



8272	N° 475 Escudo 69	7,75	1,5	1,4
8284	N° 452 Escudo 64	5,6	1,4	1,7
8307	N° 434 Escudo 64	6,26	1	1,1
8324	N° 411 Escudo 66	8	1,1	2,7
8340	N° 387 Escudo 65	7,14	1,4	1,4
8350	N° 376 Escudo 60	6,71	1,5	1,5
8369	N° 354 Escudo 66	6,38	1,2	1,5
8379	N° 343 Escudo 64	6,15	2	1,3
8393	N° 329 Escudo 65	5,39	2,5	1,2
8403	N° 318 Escudo 60	3,87	3,1	0,5
8417	N° 303 Escudo 65	7,73	2,5	1,7
8429	N° 284 Escudo 58	6,32	4,5	2,1
8442	N° 267 Escudo 63	4,85	1	0,8
8457	N° 244 Escudo 64	7,19	1,8	0,7
8471	N° 277 Escudo 60	7,12	3,1	1,3
8483	N° 212 Escudo 58	5,98	2,5	1,7
8493	N° 202 Escudo 63	5,17	1,6	2,3
8502	N° 192 Escudo 65	6,77	2,7	1,9
8517	N° 171 Escudo 49	6,24	1,5	1,1
8524	N° 167 Escudo 63	5,29	1,2	0,7
8532	N° 159 Escudo 61	4,52	1,9	1,5
8538	N° 147 Escudo 57	8,52	2	1,5
8544	N° 146 Escudo 58	5,5	1,6	1,1
8553	N° 146 Escudo 59	1,89	0,4	0,4
8561	N° 145 Escudo 60	6,28	0,6	0,6
8572	N° 141 Escudo 60	7,33	0,8	0,5
8578	N° 138 Escudo 60	5,36	0,9	0,4
8590	N° 130 Escudo 57	6,86	1,2	1

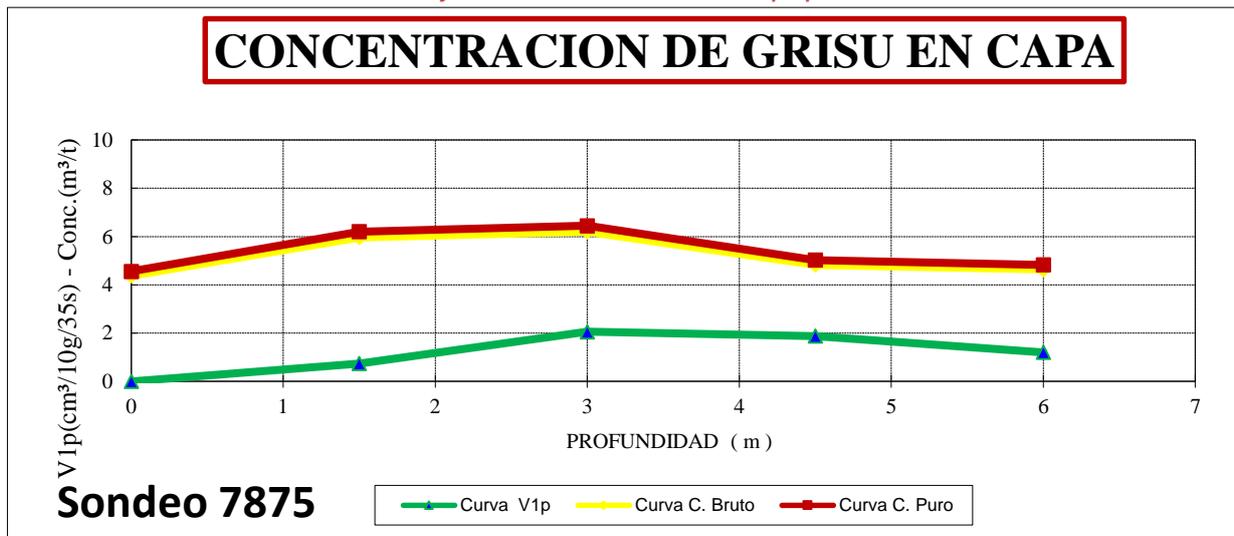


10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

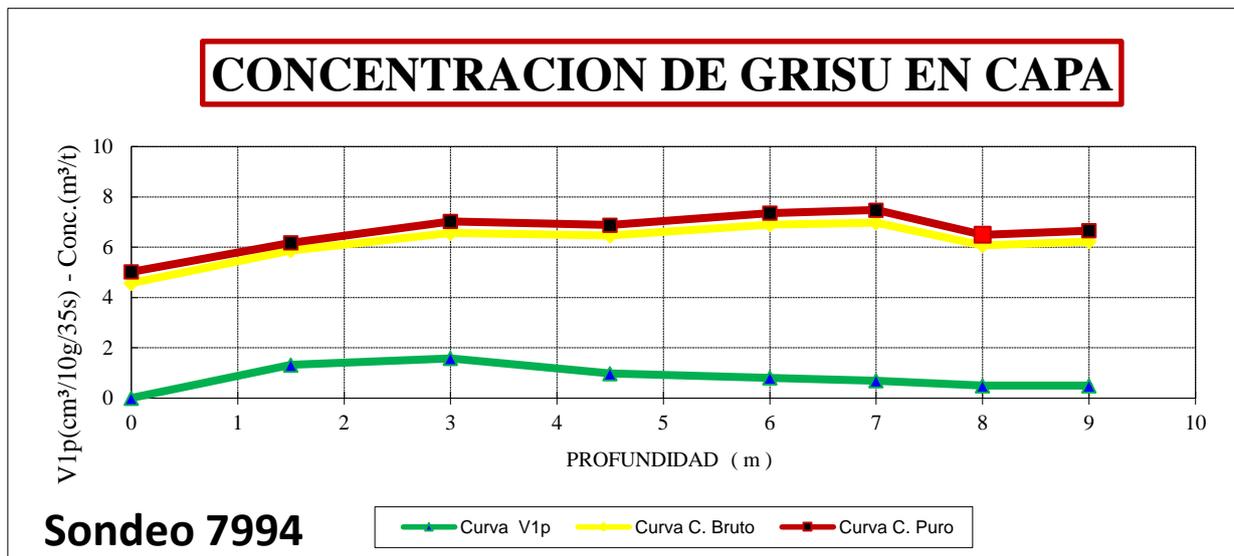
Para un correcto análisis de los resultados obtenidos en las pruebas, se representa a continuación en forma de gráficas los sondeos que en las tablas anteriores han dado índices altos.

GRÁFICAS DE SONDEOS EN BASE

Gráfica 1: Sondeo 7875. Elaboración propia.

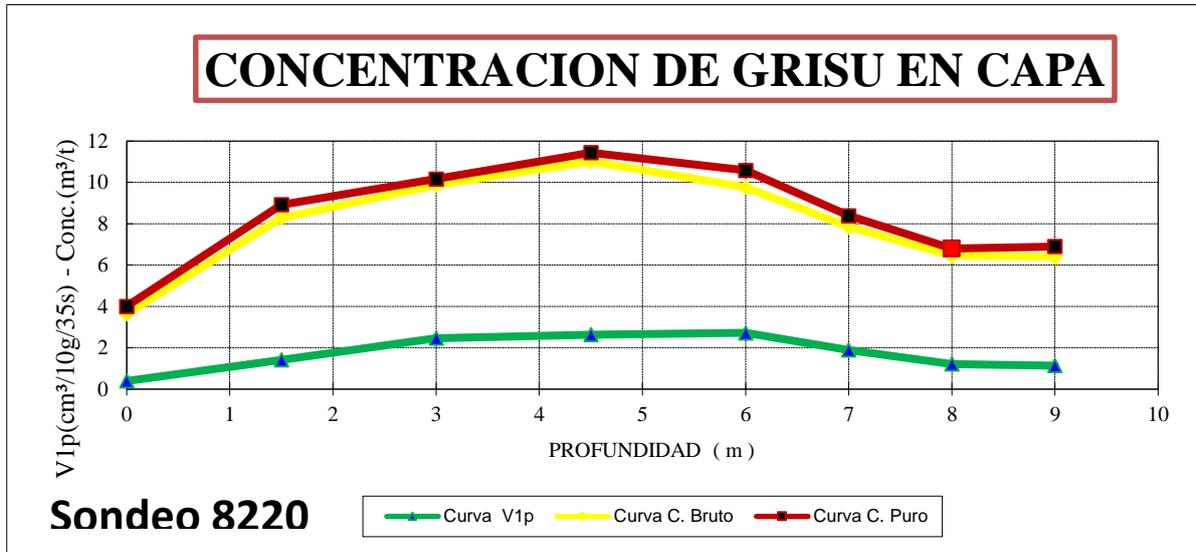


Gráfica 2: Sondeo 7994. Elaboración propia.

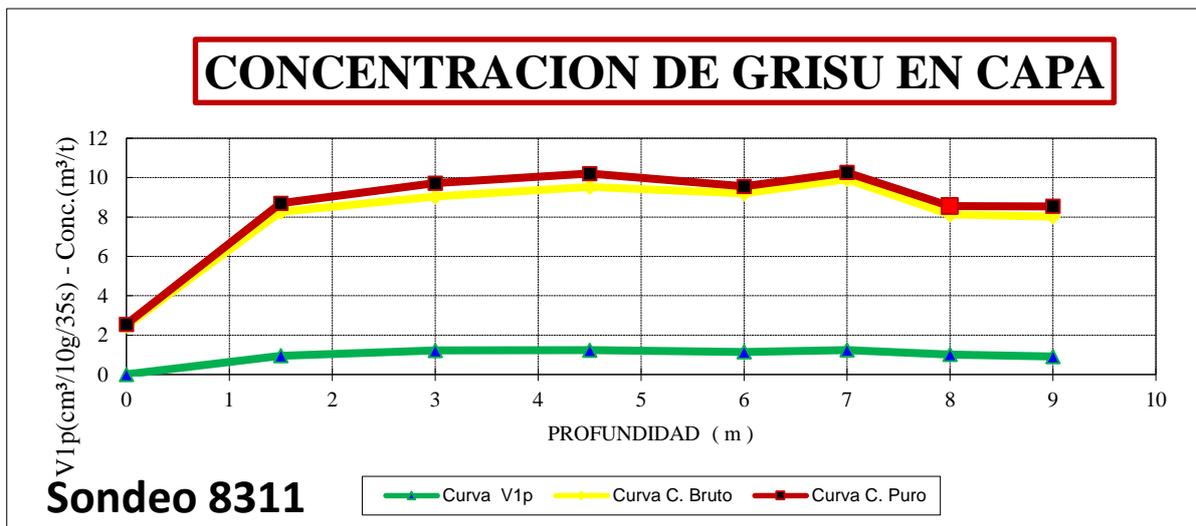




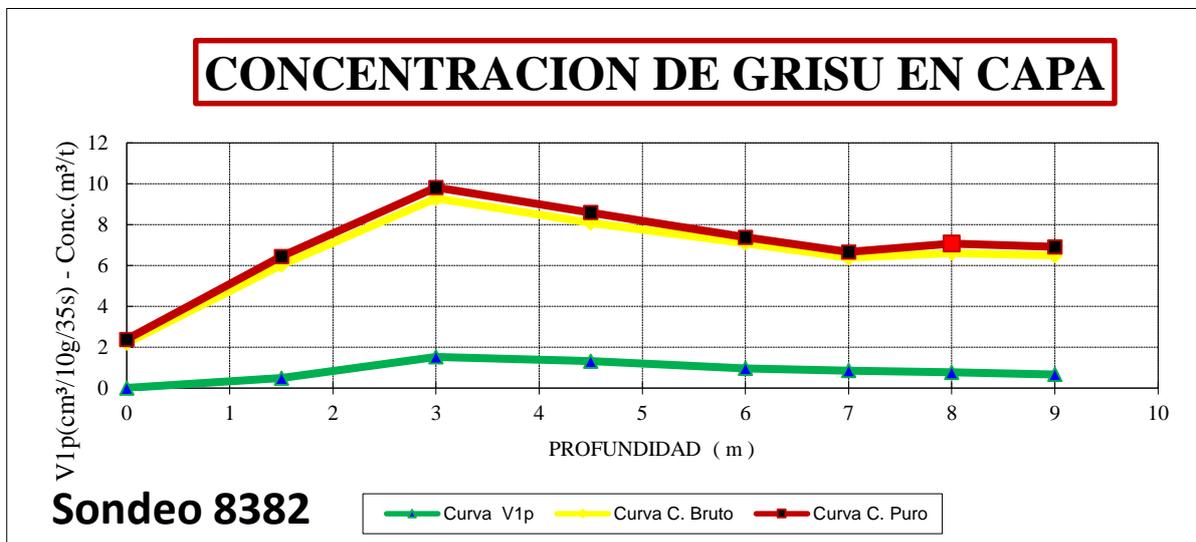
Gráfica 3: Sondeo 8220. Elaboración propia.



Gráfica 4: Sondeo 8311. Elaboración propia.

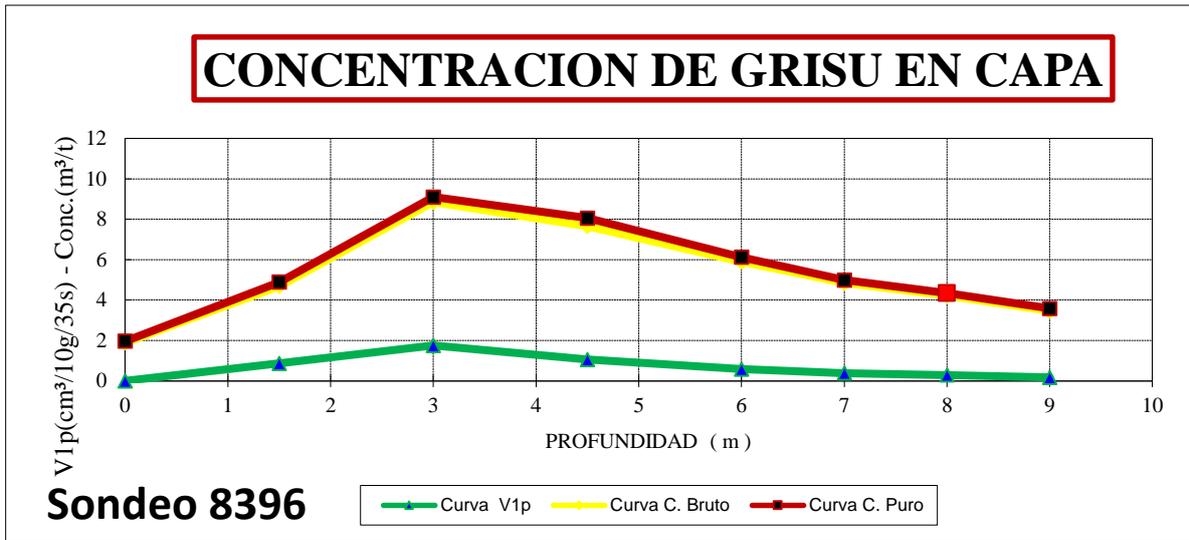


Gráfica 5: Sondeo 8382. Elaboración propia.

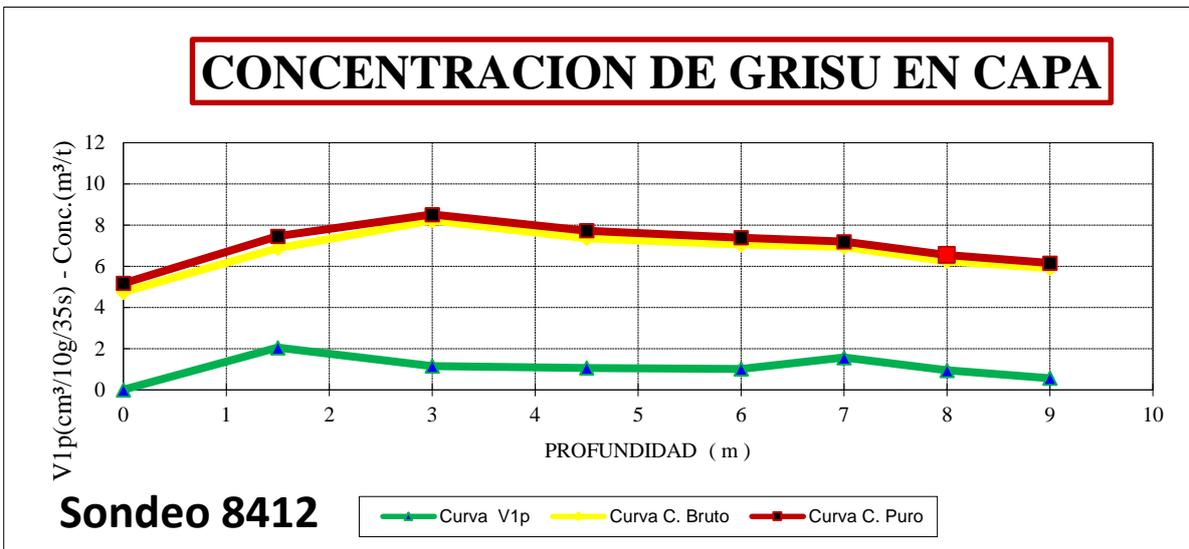




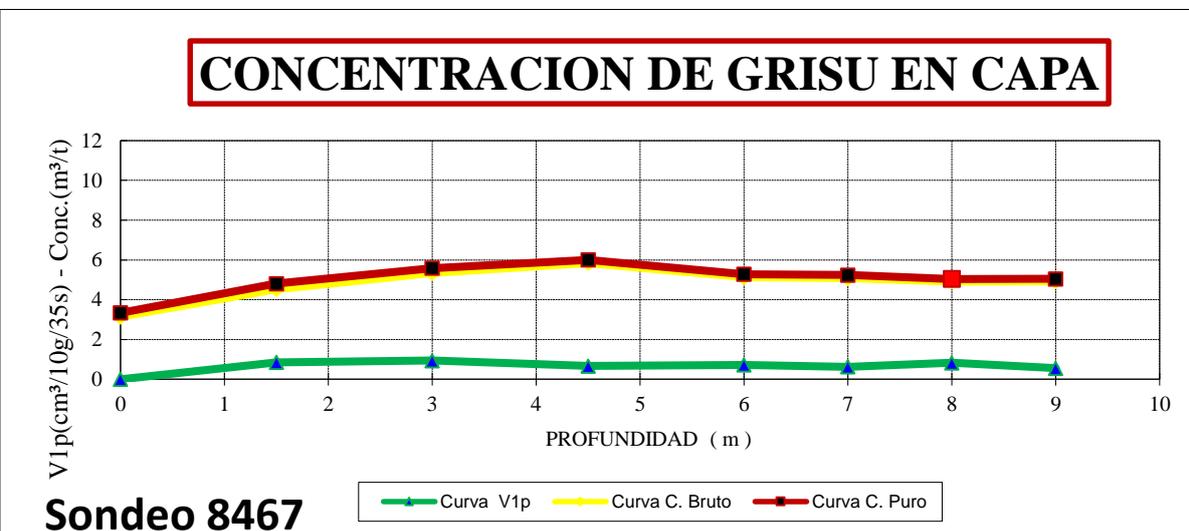
Gráfica 6: Sondeo 8396. Elaboración propia.



Gráfica 7: Sondeo 8412. Elaboración propia.

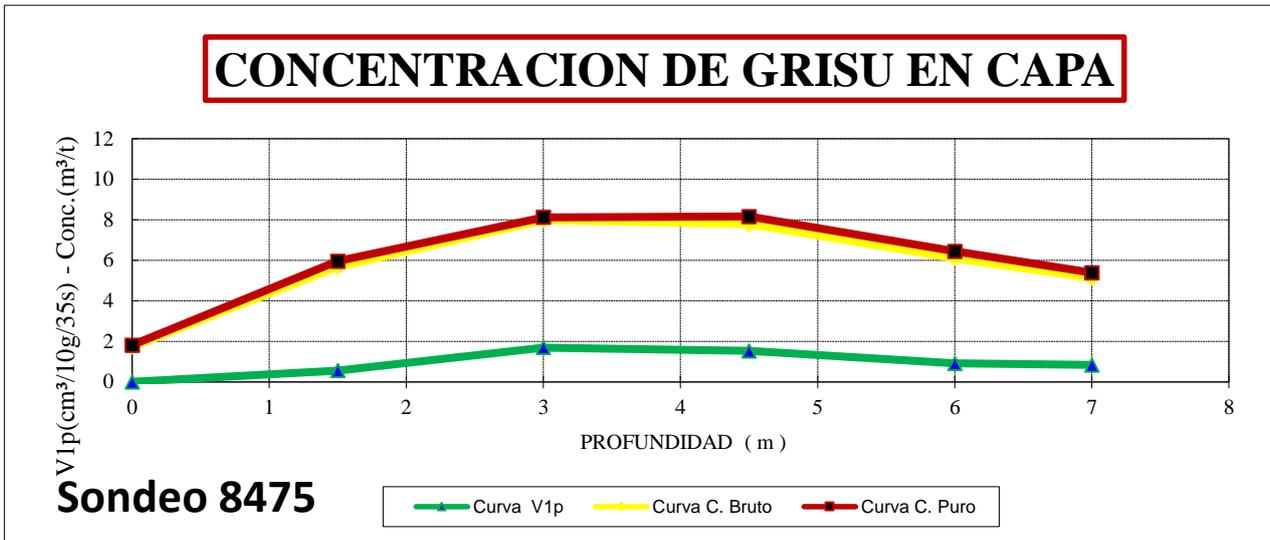


Gráfica 8: Sondeo 8467. Elaboración propia.

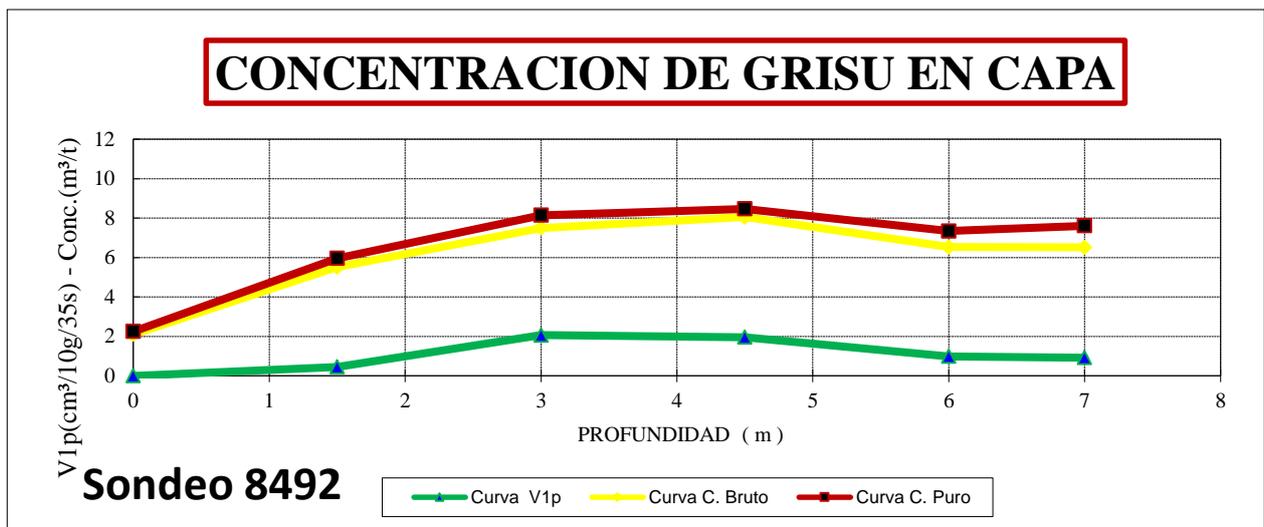




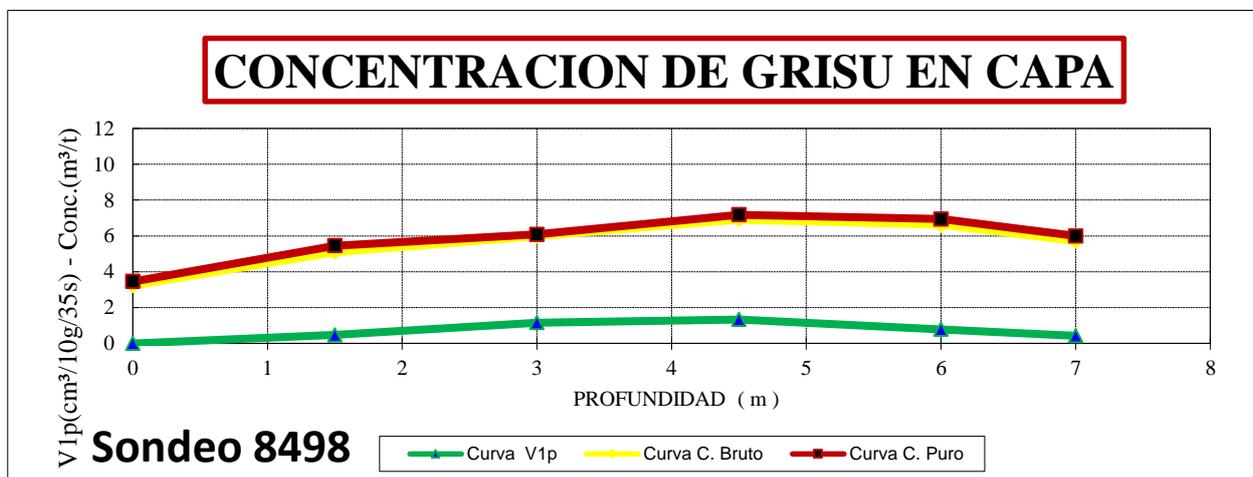
Gráfica 9: Sondeo 8475. Elaboración propia.



Gráfica 10: Sondeo 8492. Elaboración propia.

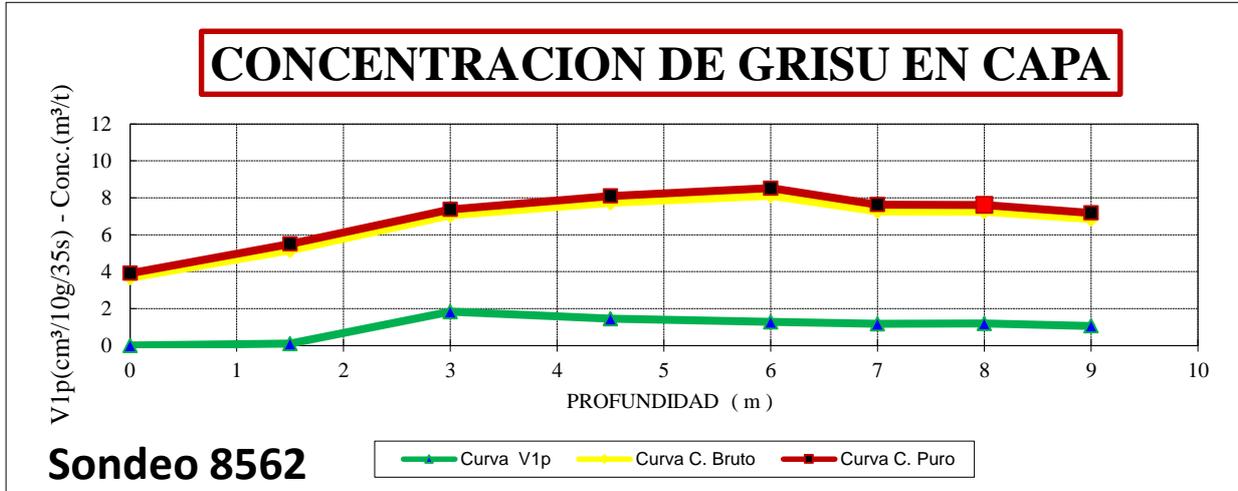


Gráfica 11: Sondeo 8498. Elaboración propia.





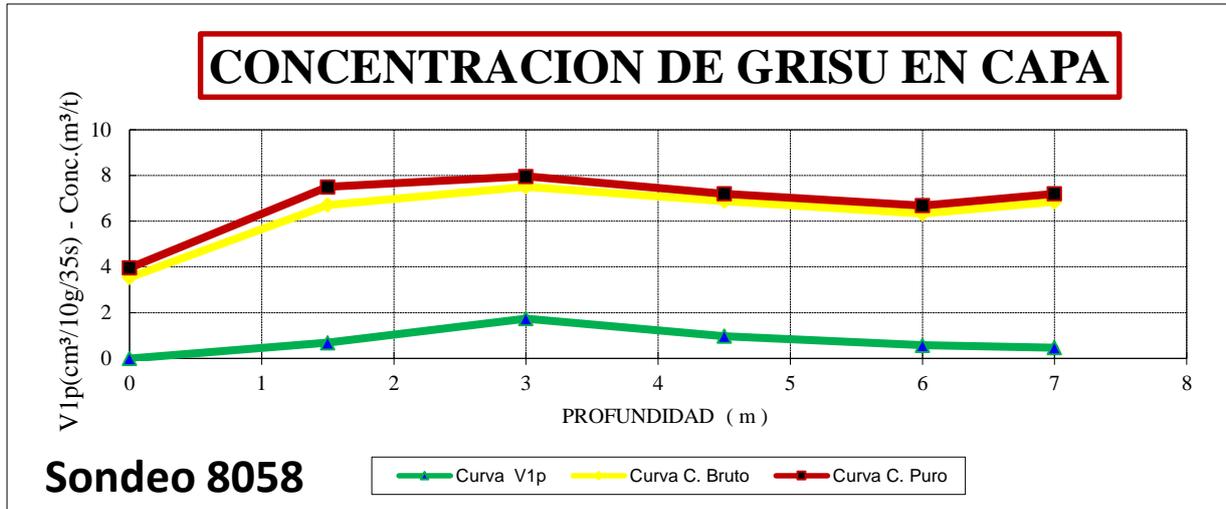
Gráfica 12: Sondeo 8562. Elaboración propia.



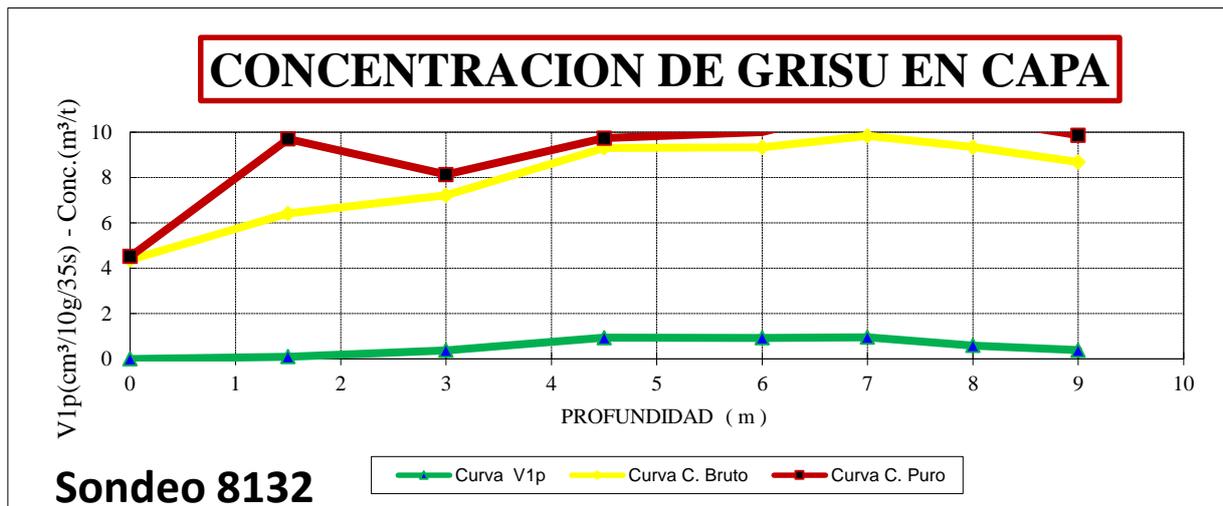


GRÁFICAS DE SONDEOS EN CABEZA

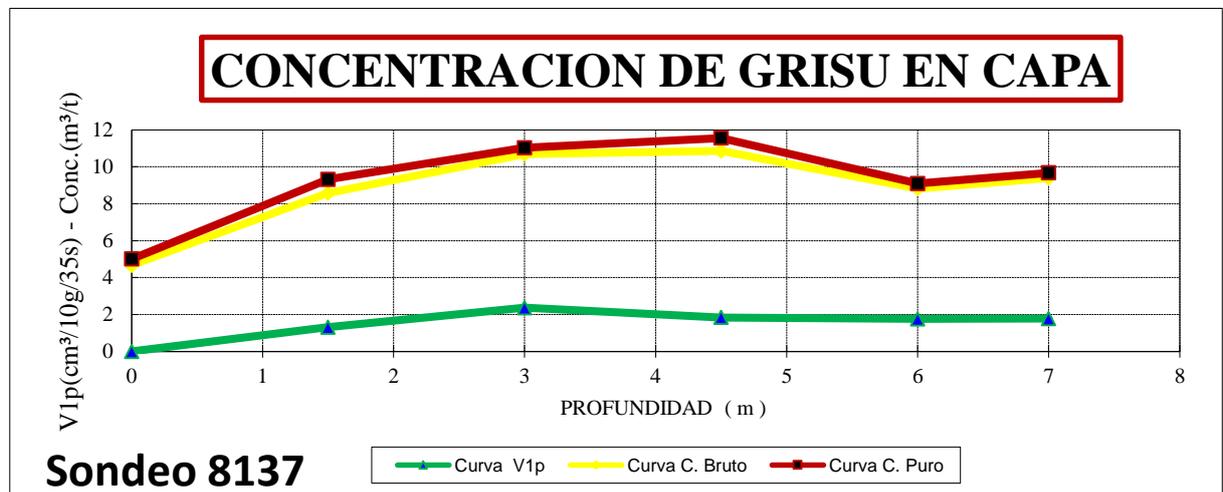
Gráfica 13: Sondeo 8052. Elaboración propia.



Gráfica 14: Sondeo 8132. Elaboración propia.

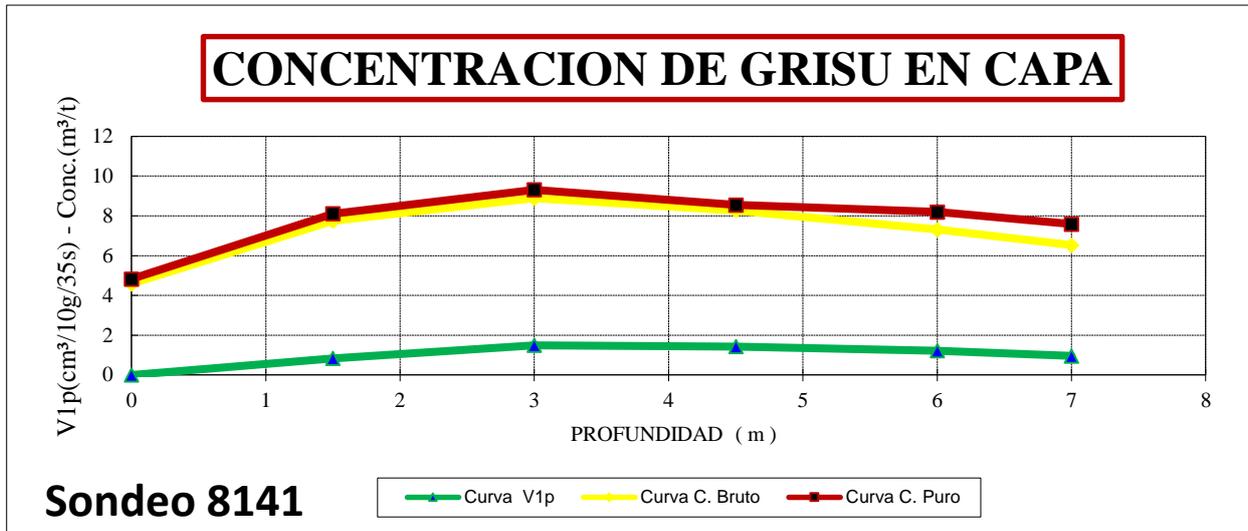


Gráfica 15: Sondeo 8137. Elaboración propia.

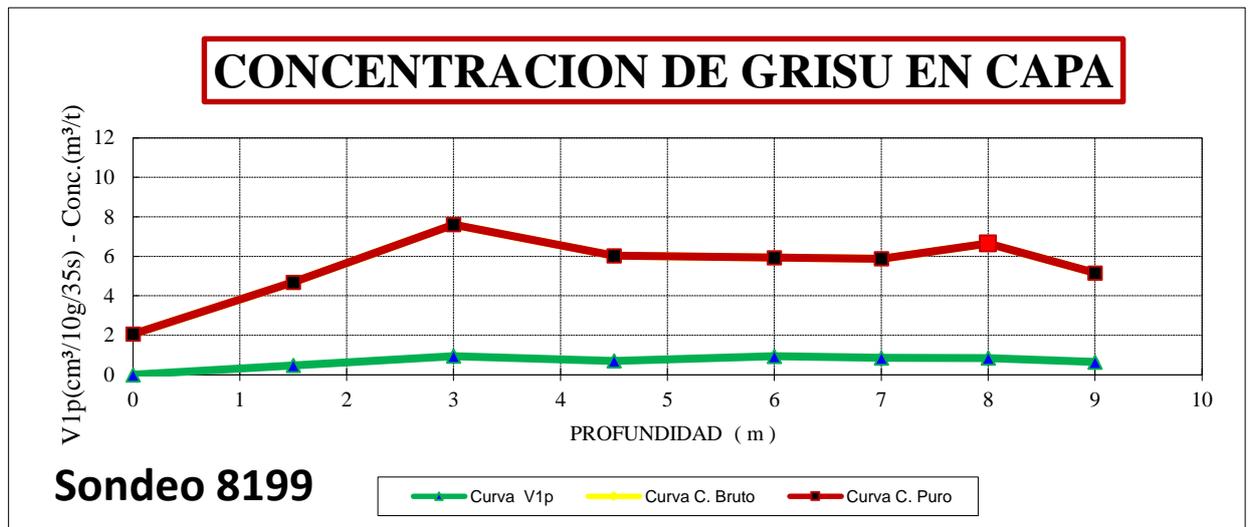




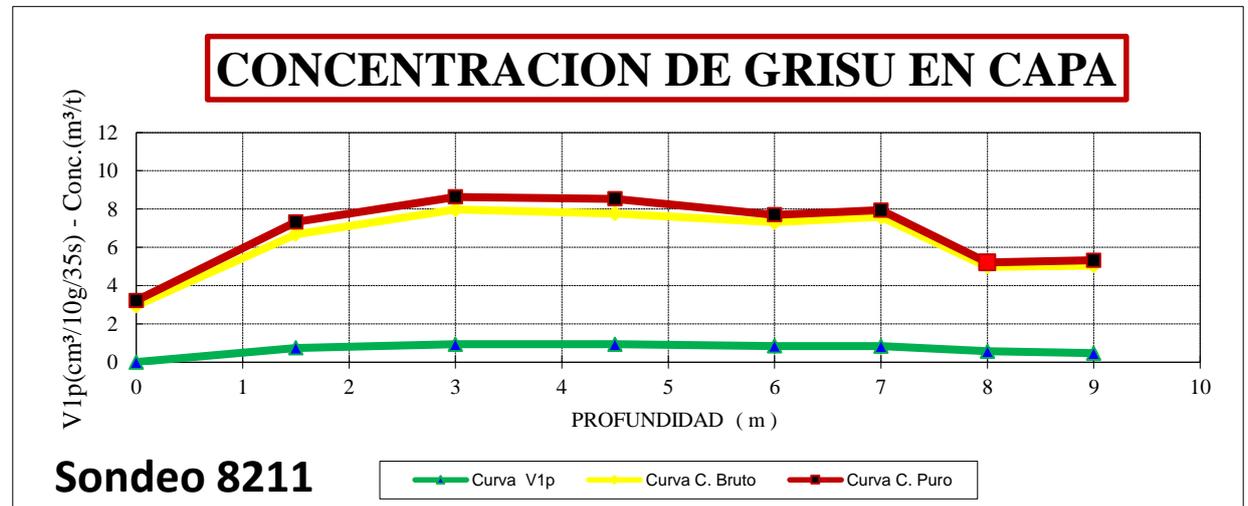
Gráfica 16: Sondeo 8141. Elaboración propia.



Gráfica 17: Sondeo 8199. Elaboración propia.

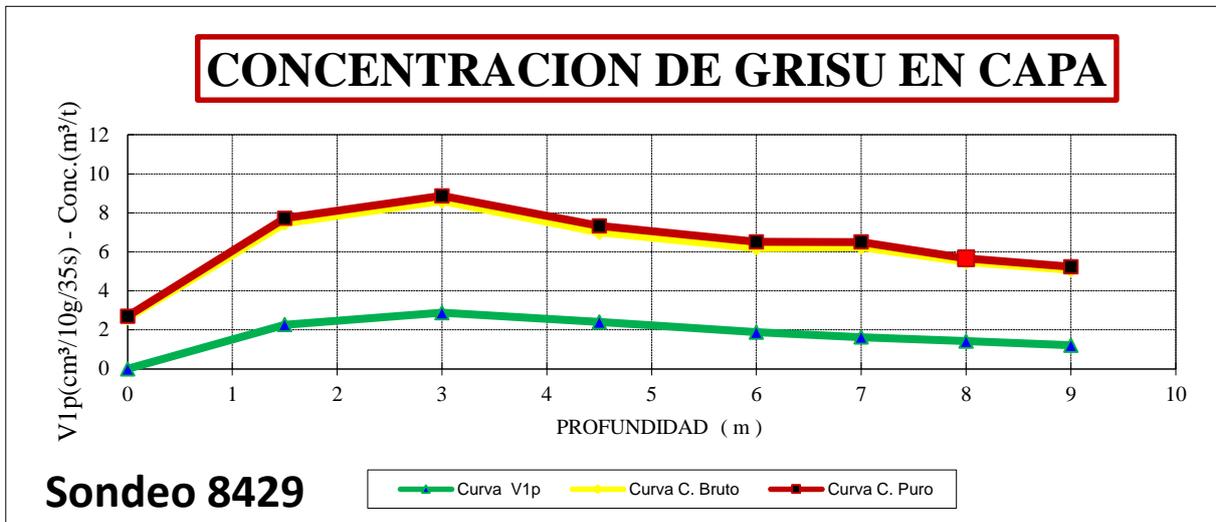


Gráfica 18: Sondeo 8211. Elaboración propia.

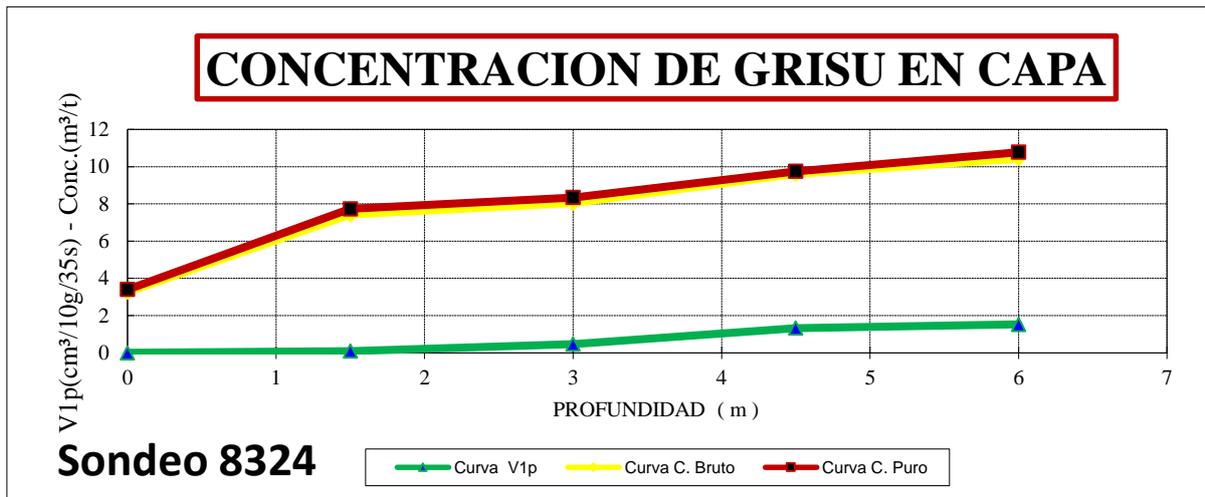




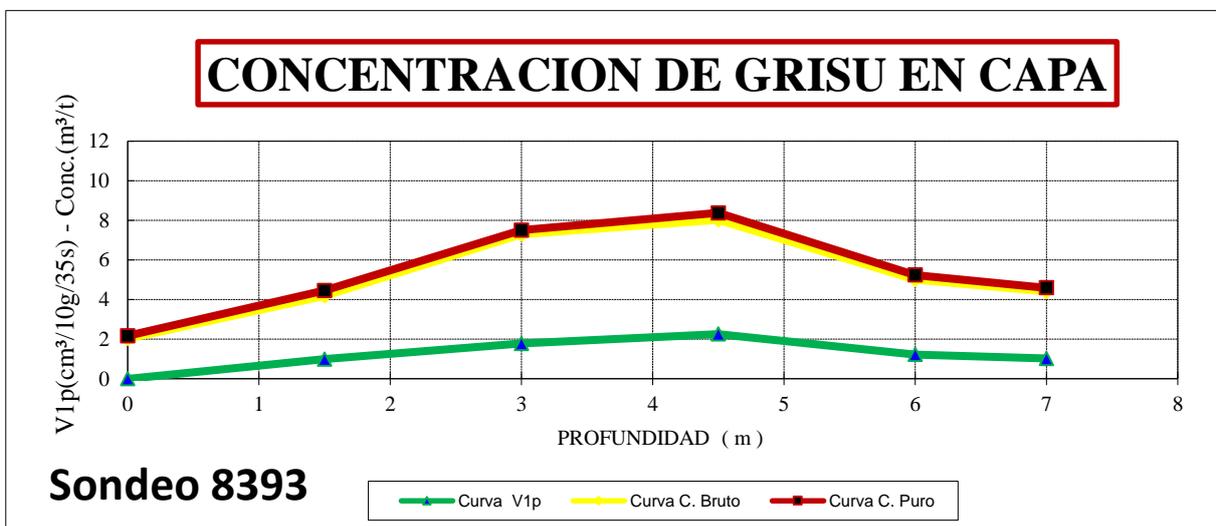
Gráfica 19: Sondeo 8429. Elaboración propia.



Gráfica 20: Sondeo 8324. Elaboración propia.

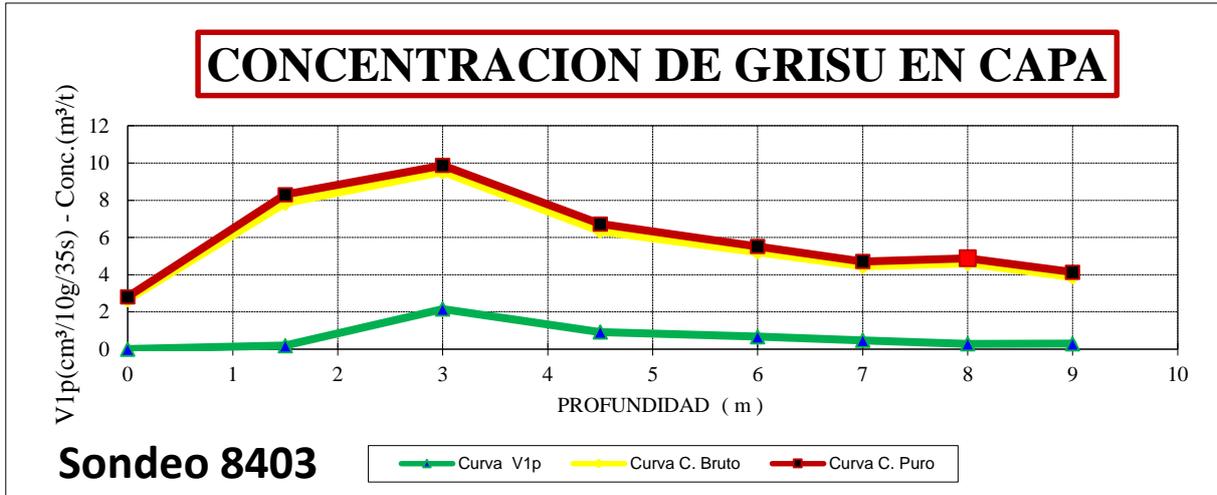


Gráfica 21: Sondeo 8393. Elaboración propia.

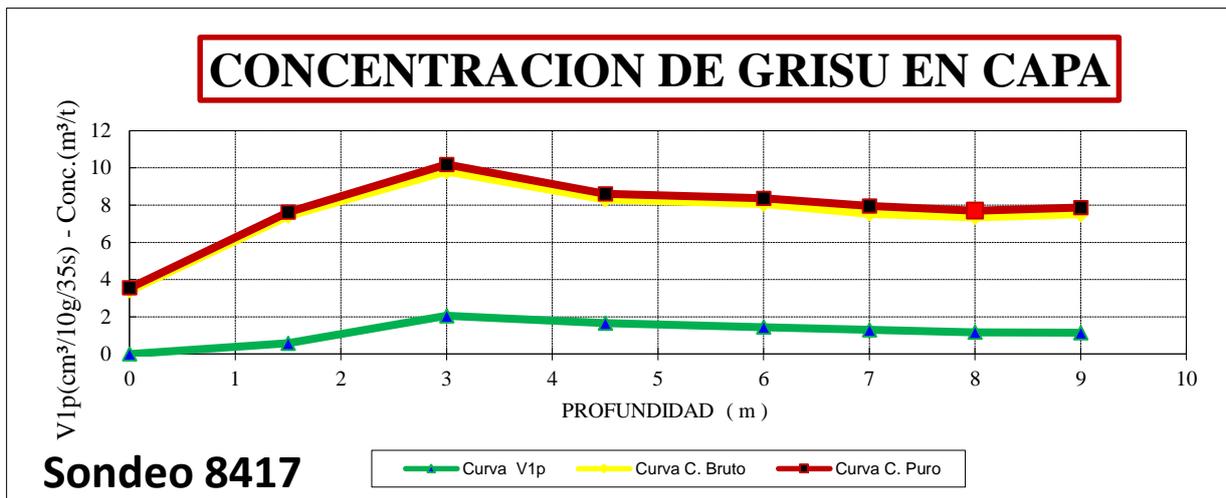




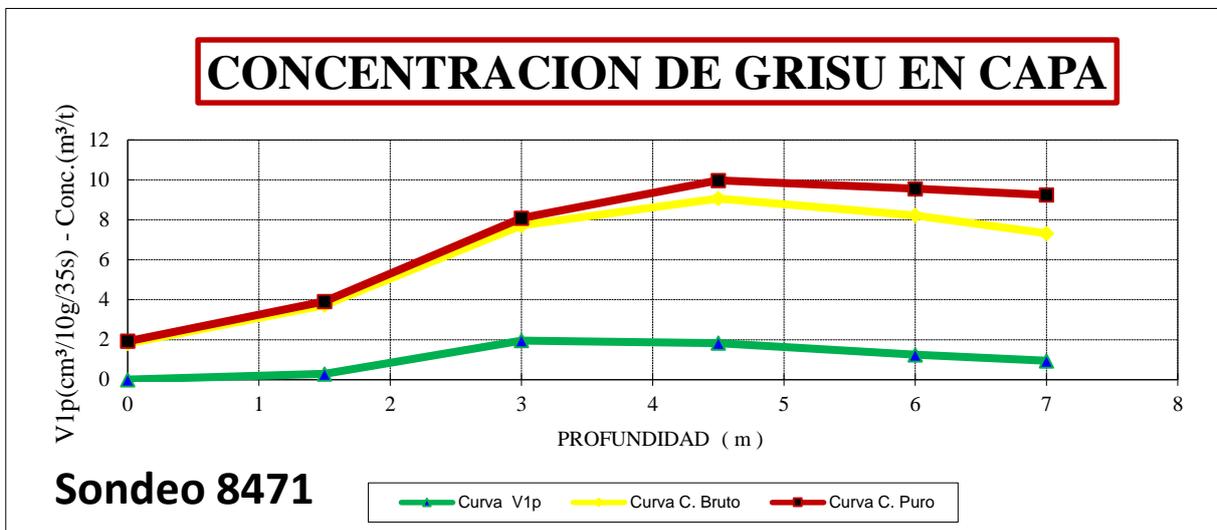
Gráfica 22: Sondeo 8403. Elaboración propia.



Gráfica 23: Sondeo 8417. Elaboración propia.

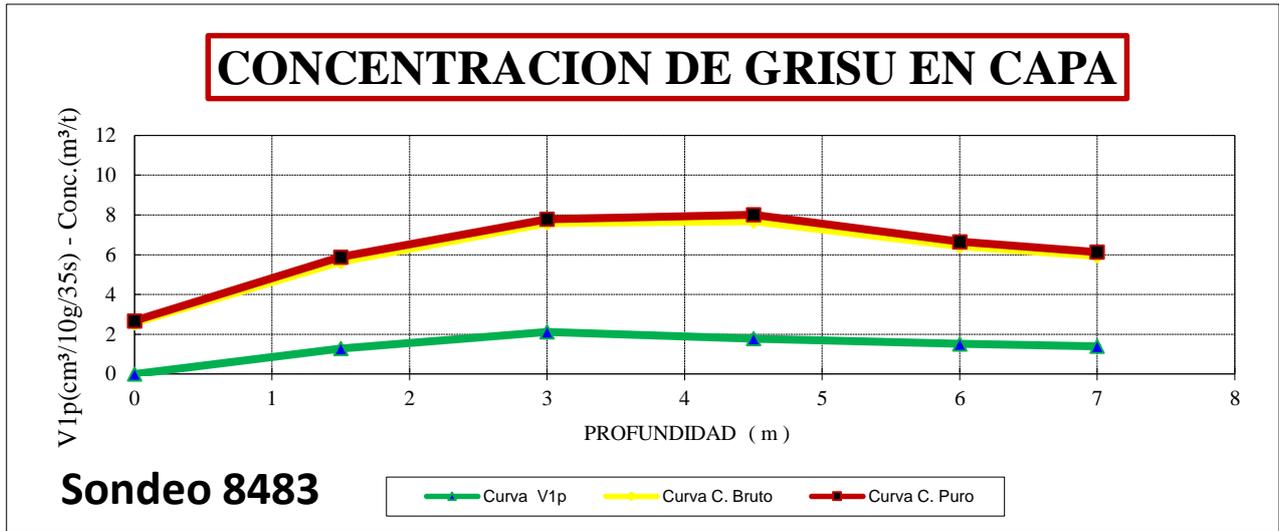


Gráfica 24: Sondeo 8471. Elaboración propia.

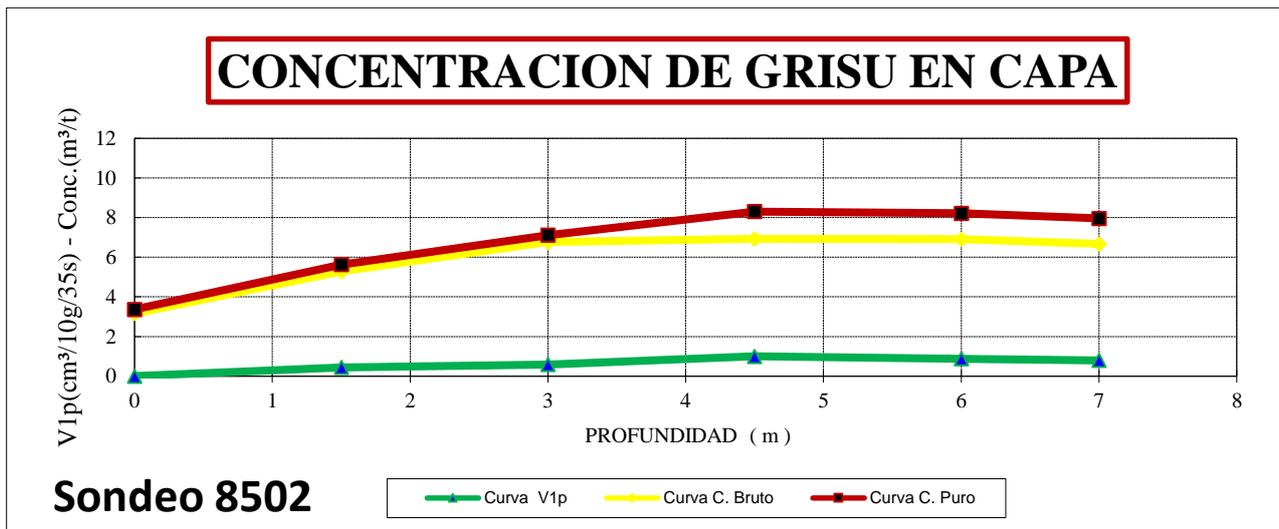




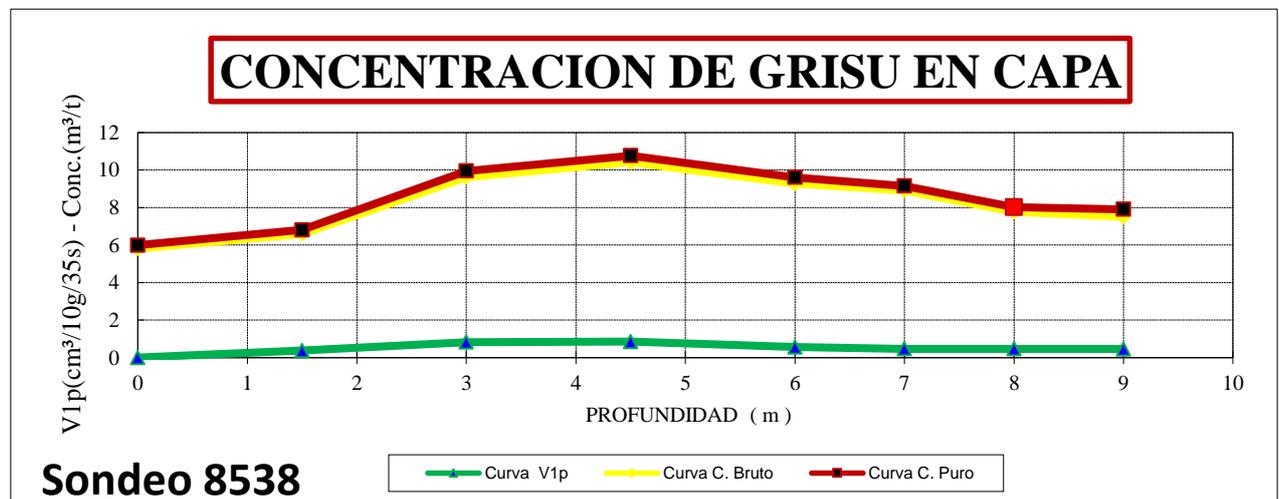
Gráfica 25: Sondeo 8483. Elaboración propia.



Gráfica 26: Sondeo 8502. Elaboración propia.



Gráfica 27: Sondeo 8538. Elaboración propia.





Como se observa en las gráficas, la posibilidad de que ocurra un FGD es algo que puede predecirse con las pruebas y parámetros adecuados.

En el caso de una marchante, que es el aquí tratado, se observa que los parámetros de control y prevención estudiados para una guía son de igual utilidad. Las gráficas no muestran picos ni curvaturas excesivas, lo que es razonable puesto que, pese a que han aparecido sondeos con elevados niveles de concentración de gas y de velocidad de desorción, éstos no han sido muy superiores al límite establecido a partir del cual existe peligro.

Los resultados no han sobrepasado los límites en exceso, ya que al tratarse de una marchante (entre dos galerías ya explotadas), estas han producido una distensión previa del terreno, rebajando las presiones. A su vez han permitido una salida del gas previa a la explotación tratada, lo que reduce también los límites del mismo.

Cabe mencionar que se observan diferencias entre las muestras tomadas en cabeza y en base. El número de sondeos con valores elevados en la base han sido menores (12) que en la de cabeza (14), aunque la diferencia no es excesiva en cuanto a cantidad, los valores han sido además de más numerosos más elevados, sobretodo en cuanto a concentración.

El valor máximo obtenido para la velocidad inicial ha sido 4,5 (10g/35s) y para la final 2,7 (10g/35s); ambos en sondeos en cabeza, aunque no en el mismo sondeo. En cuanto a la concentración, solamente se han obtenido dos valores por encima del límite 9,22 (m³/tp) y 9,28 (m³/tp) ambos también en las pruebas en cabeza.

Estas pequeñas diferencias entre unas pruebas y otras hacen notar la influencia de la presión en estos fenómenos, ya que al encontrarse a mayor profundidad las pruebas en cabeza han mostrado resultados peores.



Por último, se debe tener en cuenta que, en ocasiones, pueden encontrarse bolsas de gas que eleven los valores en las pruebas; podría ser el caso de los siguientes sondeos efectuados en cabeza: 8393, 8403, 8417 y 8429. En ellos se observan cuatro elevadas velocidades de desorción seguidas que pueden deberse perfectamente a este motivo.

Aunque los resultados obtenidos no sean alarmantes, sin su control y sin la aplicación de los métodos de prevención adecuados antes de continuar el avance, pueden darse situaciones importantes de peligro.

Mediante la aplicación de sondeos de distensión e inyección de agua en los casos en los que se han requerido, se ha evitado, rebajando los parámetros que pueden dar lugar a un FGD, un posible derrabe.



11. CONCLUSIONES

- La situación de riesgo de FGD se produce cuando se combina un alto gradiente de presión de gas con un estado de equilibrio inestable en las tensiones que está aguantando el carbón.
- Se deben controlar dos zonas especialmente: aquellas en las que hay una alta concentración de tensiones, bien por la propia profundidad, bien por otras labores o bien por cambios de potencia, de forma que al reducirse la permeabilidad el gas deja de fluir por lo que tanto el gradiente de presiones del terreno como el de presiones de gas aumenta hasta que ante un pequeño efecto iniciador el equilibrio inestable acaba por liberar la energía que tiene acumulada. Las zonas donde el carbón se encuentra muy fracturado porque el gas fluye por ellas con más facilidad.
- En todo frente de carbón existe un estado de equilibrio entre las presiones del terreno y del gas. Dicho equilibrio, que suele ser inestable, evoluciona progresivamente hacia la estabilidad mediante la deformación de las rocas y del carbón generando la convergencia de la galería y la emisión continua de grisú. A veces dicho proceso se detiene sin alcanzar la estabilidad, es decir, permanece una energía acumulada que finalmente puede acabar liberándose de forma violenta (en forma de FGD).
- Los estudios realizados en capa hasta día de hoy son perfectamente aplicables al caso de una entibación mecánica autodesplazable, tanto las pruebas de control como los métodos de prevención.
- Se deben alternar las pruebas para el control de los parámetros entre la base y la cabeza, habiendo obtenido en este estudio unos resultados mayores en cabeza, debe indicarse la importancia especial de un buen control de estos fenómenos en la misma.



BIBLIOGRAFÍA

España, I. G. (s.f.). Proyecto de investigación de derrabes de carbón. España: Ministerio de Industria y Energía.

Especificación Técnica 0307-6-92: Método de medida de la velocidad de desorción del grisú. (s.f.). Rusia.

Especificación Técnica 0308-5-92 : Método para determinar la concentración desorbible del grisú en capa. (s.f.). Rusia.

Seguridad, D. d. (2009). *Resumen de Investigación de Fenómenos Gaseodinámicos*. Oviedo: Hulleras del Norte S.A.

Seguridad, D. d. (2012). *Manual de Fenómenos Gaseodinámicos*. Oviedo: Hulleras del Norte S.A.



ANEXOS

ANEXO I: CONTROL DE LOS FENÓMENOS GASEODINÁMICOS. FUNDAMENTO TEÓRICO



INTRODUCCIÓN

“Se entiende por fenómeno gaseodinámico en una capa de carbón la liberación brusca de energía acumulada, con proyección de carbón en cantidad significativa, pudiendo estar acompañada esta proyección por una emisión de gas de cuantía variable.” (Proyecto de Investigación de derrabes del carbón)

Como factores que pueden contribuir al desencadenamiento de un fenómeno dinámico se destacan:

- La presión del grisú contenido en la capa.
- El estado tensional del macizo.
- El efecto de la gravedad.

EL GRISÚ

El grisú es una mezcla de gas metano y aire en diversas proporciones. Sus características son incoloras, inodoras e insípidas. Además, es combustible, asfixiante y explosivo. Tiene un peso de $0,7180 \text{ kg/m}^3$, por lo que se acumula en las partes altas de los huecos de la mina. Se genera en el proceso geoquímico de transformación de los restos vegetales del carbón. En él se producen cantidades de CO_2 y CH_4 calculadas en 350 m^3 de CH_4 y más 200 cm^3 de CO_2 por cada m^3 de carbón. El CO_2 se diluye en agua a grandes presiones; también se consume en la formación de carbonatos, sobre todo hierro y calcio.

El carbón es considerado un agregado granular formado por dos sistemas de poros: microporos y macroporos. Esta estructura microporosa confiere al carbón una gran superficie específica. La presencia de CH_4 en el carbón se manifiesta de varias maneras:

Como gas adsorbido

La retención del metano se da en la superficie de las partículas, mediante un proceso de adsorción, por el cual el gas se concentra en la superficie porosa del carbón.



Como gas absorbido

El metano se encuentra también en los poros y fisuras del carbón en fase libre. Este metano está en equilibrio con el adsorbido que se encuentra en la superficie, existiendo un flujo de moléculas entre ambas fases. En este equilibrio influye la presión (se estima que a 20 atmósferas el metano adsorbido es diez veces superior al que se encuentra en fase libre).

Esta adsorción y desorción que se dan en el carbón son fenómenos reversibles, cuyo equilibrio depende de las condiciones que se den y que determinarán la dificultad de las moléculas de gas para circular por los poros de la masa del carbón.

Este flujo de metano (que solo puede darse en fase de gas libre) consta de dos etapas:

- Difusión.

Este fenómeno se da en el interior de los bloques que se encuentran definidos entre fisuras.

- Flujo laminar

Este fenómeno se da a través de las fisuras interconectadas de la capa de carbón.

Ambos fenómenos tienen lugar en el macizo de carbón durante la liberación de gas.

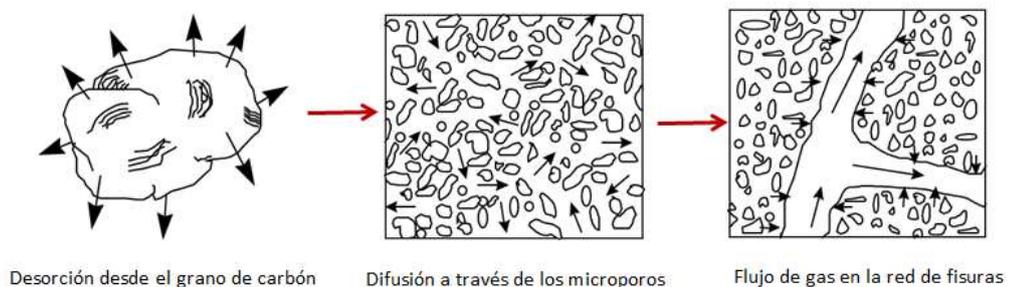


Ilustración 1: Flujo del metano. Fuente: Manual de FGD



Se define, por lo tanto, la permeabilidad del metano a través del carbón, como la capacidad para transmitir el gas a través del mismo, cuando existe un gradiente de presión o concentración en el macizo. Podría definirse como la conductividad en el carbón del fluido considerado. El principal camino para el flujo de gas son los macroporos o fracturas, la contribución de los microporos es pequeña cuando se compara con el flujo total.

LOS ÍNDICES DE RIESGO

Como principales factores involucrados en la generación de fenómenos gaseodinámicos se deben considerar el grisú y las presiones, que se valoran mediante unos índices que permiten caracterizar la propensión del carbón a estos fenómenos.

Índices por grisú

Evalúan la forma en la que se libera el grisú y el riesgo de que se dé un arrastre de carbón por un fenómeno de desorción. La posibilidad de que suceda esto depende de dos parámetros fundamentalmente:

- El volumen de gas.
- La velocidad con la que se desorbe el gas.

Concentración desorbible del grisú

El contenido de grisú en el carbón puede determinarse de forma directa en la capa mediante sondeos. El procedimiento para obtener este parámetro está regulado por la Especificación Técnica 0308-5-92, en la que se establece la metodología para el cálculo del grisú en cada una de las fases siguientes:

- La cantidad de grisú desprendida durante la toma de la muestra (Q_1).
- La cantidad de grisú desprendida en el traslado de la muestra al laboratorio en un frasco hermético (Q_2).
- La cantidad de grisú que falta por desprenderse, determinada en laboratorio (Q_3).



La muestra recogida para el cálculo de la concentración del grisú será de 10 g de carbón tamizado que tendrá una granulometría de 0,8 - 2 mm. Las muestras de control se toman cada 1 - 1,5 m en un sondeo de 10 – 12 m de profundidad.

La concentración se expresa en m^3 de gas desprendido por tonelada de carbón. El contenido crítico de grisú depende de lo establecido en el país, en España se toma como concentración crítica una superior a $9 m^3/tp$.

Cinética de desorción

Además del contenido en grisú, es necesario evaluar como se desprende el grisú del carbón, es decir, la cinética de desorción del gas contenido en el carbón.

El índice más utilizado es la velocidad de desorción (V_1) cuya determinación está regulada en la Especificación Técnica 0307-2-92 del Ministerio de Industria y expresa la cantidad de grisú en cm^3 que desprende una muestra de 10 g con una granulometría 0,5 - 0,8 mm, en el intervalo que va de 35 a 70 segundos a partir de que se ha extraído la muestra del macizo de carbón.

La profundidad a la que se toma esta muestra habitualmente es de 3 m. Las medidas se toman en el interior de la mina mediante un desorbómetro.

El valor crítico de la velocidad de desorción a partir del cual el carbón se considera propenso a los fenómenos gaseodinámicos es de $2cm/10g/35s$.

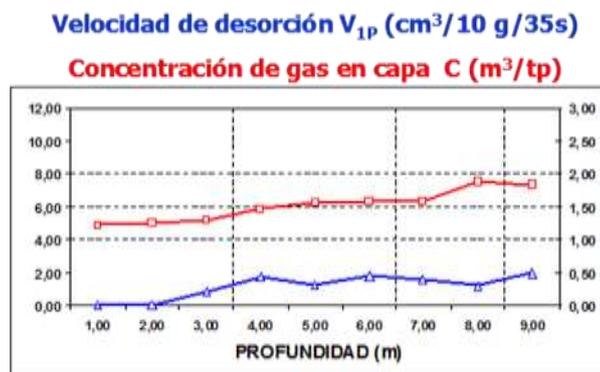


Ilustración 2: Velocidad de desorción y de concentración con respecto a la profundidad. Fuente: Manual de FGD



Índices por tensiones

Es importante la localización de las zonas de sobrepresión, que se realiza mediante medidas directas en la mina o a través de cálculos que determinan las proyecciones de los bordes de tajo o macizos en explotaciones colindantes.

VALORACIÓN DEL RIESGO

El riesgo de que se den fenómenos gaseodinámicos se deduce de la interacción de los dos componentes básicos:

- El grisú.
- El estado tensional.

Con el análisis de estos dos factores se pretende identificar el riesgo antes de que se lleve a cabo la explotación de la capa.

Por lo tanto, es necesario que las medidas de V_1 se tomen antes de los trabajos de avance, permitiéndose este, únicamente cuando los valores se encuentren por debajo del límite establecido. En caso de que se supere dicho límite, se aplicarán los métodos de prevención adecuados y se verificara posteriormente su eficacia, es decir, se comprobará que los nuevos valores son inferiores al límite fijado antes de reanudar los trabajos.

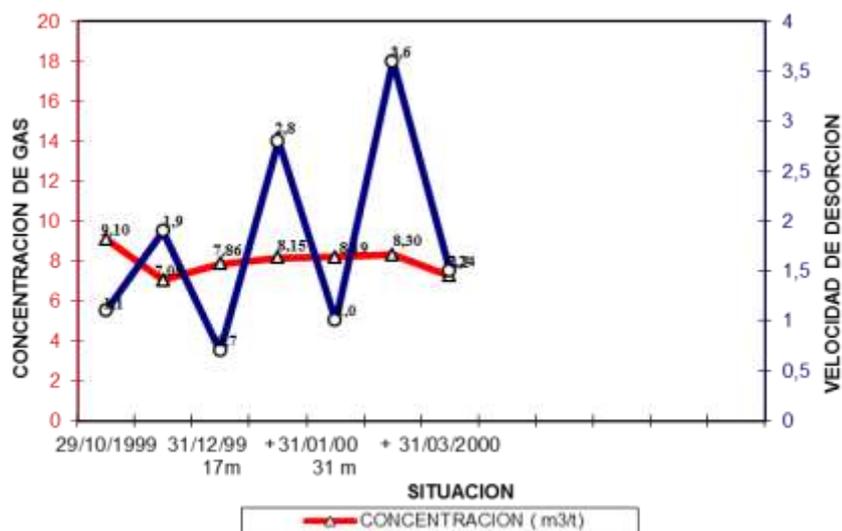


Ilustración 3: Concentración y velocidad V_1 . Fuente: Manual de FGD



ANEXO II: CONTROL DE LOS FENÓMENOS GASEODINÁMICOS. METODOLOGÍA.



Estos procedimientos se realizan de acuerdo con las siguientes Especificaciones Técnicas:

- ✓ 0308-5-92: Método para determinar la concentración desorbible de grisú en capa.
- ✓ 0307-6-92: Método de medida de velocidad de desorción del grisú.

Dichas especificaciones tienen como objeto establecer los procedimientos de medida de la concentración del grisú contenido en las capas de carbón y de la velocidad de desorción del metano en los frentes de avance del carbón y son de aplicación a los frentes de carbón en las minas subterráneas. Se encuentran en los anexos 4 y 5 de este trabajo.

TOMA DE MUESTRAS Y MEDIDAS IN SITU

Para comenzar, se mide el porcentaje de grisú en la zona de explotación donde se va a efectuar la toma de muestras. Y se mide con un metro el espesor de la capa de carbón.

Se pica levemente en el corte, recogiendo la muestra sobre los tamices de fracción comprendida entre 0,8 y 2 mm, de la cual se toman 10 g con el recipiente calibrado.



Fotografía 1: Tamices de 0,8 y 2 mm. Fuente: propia



Se introducen los 10 g en un recipiente de plástico de 1 litro que ha sido numerado previamente.



Fotografía 2: Bote hermético para el transporte de las muestras. Fuente: propia

A continuación, se comienza la toma de muestras a distintas profundidades.

Tras introducir la barrena 1,30 m, se interrumpe la operación de perforación y se limpia bien el sondeo con inyección de aire mientras se mueven las barrenas.



Fotografía 3: Equipo de perforación (sin barrenas). Fuente: propia

Tras limpiar el sondeo, se continua la perforación con la inyección de aire, al mismo tiempo se colocan los tamices para recoger la muestra. Cuando se observe que la muestra recogida ha sido superior a 10 g se retiran los tamices y se agitan.



Con el recipiente medidor se recogen 10 g de la fracción 0,8 - 2mm. Es importante meter la muestra en el recipiente sin presionarla o apelmazarla, se introduce y se enrasa.



Fotografía 4: Desorbómetro y cubilete para medir la cantidad de muestra. Fuente: propia

Se introduce la muestra tomada con el recipiente en el desorbómetro y se pone el tapón. Se cronometran 35 segundos, transcurrido ese tiempo se tapa el orificio del aparato con el dedo descubierto (nunca con un guante o cualquier otra superficie). Se mantiene tapado 35 segundos más y se toma la medida.



Fotografía 6: Esquema del desorbómetro. Fuente: propia



Fotografía 7: Desorbómetro con cubilete, tapón y cronómetro. Fuente: propia

En caso de que el tiempo de recogida e introducción de la muestra en el desorbómetro sea superior a 35 segundos, se debe aplicar la tabla siguiente:

Tiempo de recogida de la muestra (s)	Tiempo de la muestra en el desorbómetro (s)
35	35
40	37
45	39
50	41
55	43
60	44

Si el desorbómetro está graduado en $\text{cm}^3/10\text{ g}$ la medición anotada es directamente Q_1 (cantidad de grisú desprendida durante la toma de la muestra), en caso de estar graduado en mm de agua debe corregirse la medida utilizando el factor k del aparato. En este caso el desorbómetro está graduado en $\text{cm}^3/10\text{ g}$, con lo que la medición es directa.



El desorbómetro debe estar calibrado correctamente, ya que en los traslados y durante su manipulación puede descalibrarse.

Para comprobar que el equipo mide correctamente se introducen 10 g de carbón inerte y con una jeringuilla se le induce una cantidad determinada de aire, que es la que debe marcar. Si no es correcta la medición, se le retira la tapa e introduciendo un tornillo se regula la aguja hasta su lugar correcto. Todo este proceso ha de realizarse fuera de la mina.



Fotografía 8: Comprobación de la calibración del equipo. Fuente: propia



Fotografía 9: Calibración del equipo. Fuente: propia

Tras realizar la medición se vuelca el contenido del interior del desorbómetro en un bote de 1 litro numerado que se cierra herméticamente.

Estos recipientes en los que se van a transportar las muestras deben estar previamente abiertos, para que se llenen de la atmósfera ambiental de la mina, comprimiéndolos y descomprimiéndolos con antelación a la introducción de la muestra.

La misma operación debe realizarse a los 3; 4,5; 5; 6; 7; 8; 9; 10 y 11 m de profundidad del sondeo.



Debe realizarse la misma operación para los valores de la velocidad de desorción, pero en este caso se utilizan los tamices de 0,5 y 0,8 mm y las medidas se toman cada metro.

Al finalizar se mide la presión y la temperatura donde se ha realizado la toma de muestras y se anota. Todo el equipo es transportado a la mina cuidadosamente, en especial el desorbómetro. Se traslada en mochilas bien envuelto, para evitar golpes.



Fotografía 10: Mochila con equipo. Fuente: propia

Además de todos estos aparatos también se necesita para la toma de muestras en la mina:

- ✓ Brocas de repuesto
- ✓ Llave inglesa
- ✓ Una bobina de cordón
- ✓ Aceite
- ✓ Metro
- ✓ Grapas de manga
- ✓ Tubos de empalme
- ✓ Tenazas



Fotografía 11: Equipo para toma de muestras en la mina. Fuente: propia



PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO I

Tras la realización de la toma de muestras en la mina, éstas se llevan al laboratorio donde deben ser analizadas antes de que transcurran más de 5 o 6 horas desde la toma de las mismas.



Fotografía 12: Botes herméticos con la muestra. Fuente: propia

Se mide la presión y temperatura del laboratorio.

Se acopla en el bote un tapón con un tubo de goma que se conecta por el otro lado a un metanómetro. Se presiona el recipiente y se mide el contenido de metano.

El metanómetro aumenta hasta un determinado valor, posteriormente disminuye de nuevo, se toma el valor máximo alcanzado antes de que empiece la reducción y se anota en la hoja de control.

Este dato obtenido es Q_2 (cantidad de grisú desprendida en el traslado en el frasco hermético de la muestra en el laboratorio).



Fotografía 13: Metanómetro (izqda.) y tapones con tubo de goma (drcha.). Fuente: propia



Fotografía 14: Medida de Q2. Fuente: propia

Se abre el recipiente, se saca la muestra y se pesa. La cantidad pesada debe estar próxima a los 10 g. Pueden darse variaciones en el peso, que pueden ser debidas a desviaciones de la vena o a un alto porcentaje de cenizas de la muestra.



Fotografía 15: Bote para pesar (izda.) y báscula (drcha.). Fuente: propia

A continuación, se preparan los recipientes estancos con sus filtros para evitar que el polvo producido se introduzca en los conductos.



Fotografía 16: Recipientes para el molino de bolas. Fuente: propia



Se prepara el molino. El sistema de buretas debe estar acoplado al molino para recoger el gas desprendido, éstas deben enrasarse correctamente para que la medición del gas sea correcta.



Fotografía 17: Molino. Fuente: propia

Para enrasarlas se utiliza una pera que ayuda a subir el líquido hasta el nivel inicial.



Fotografía 18: Nivelación de las pipetas. Fuente: propia



Fotografía 19: Pipetas niveladas. Fuente: propia

Se introducen las muestras en el molino para medir el gas desprendido durante la molienda, Q_3 .

Cada molino tiene capacidad para dos recipientes, es decir para dos muestras. Se cierran bien los recipientes estancos, observando que el cierre es hermético y no hay fugas en ningún conducto.

Se pone en marcha el molino y se tiene en funcionamiento entre 20-30 min.



Fotografía 20: Interior de los molinos. Fuente: propia

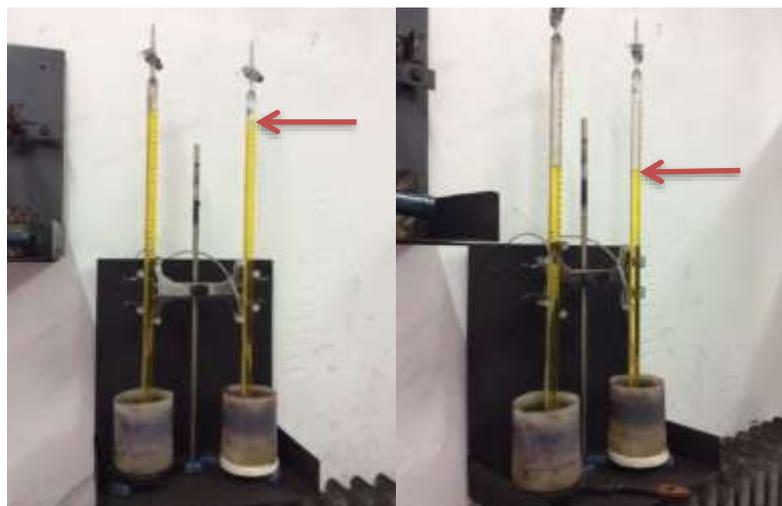


Fotografía 21: Introducción de las muestras en los molinos. Fuente: propia

Se aprietan los recipientes con una grapa de apriete para evitar cualquier movimiento.

Una vez parado el molino, se anotan los cm^3 de gas desprendido, que se observan en las buretas.

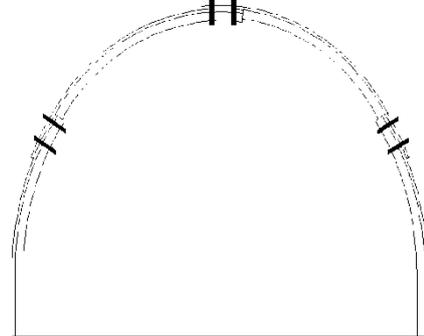
Estos aparatos de medición marcan cm^3 , al comienzo de la prueba el agua se encuentra a nivel 100, se le resta la medida que marca el agua al final del molido y la diferencia es el gas desprendido.



Fotografía 22: Pipetas antes y después del molido de las muestras. Fuente: propia



Además, se presentará en un croquis acotado, la posición de la zona donde se tomó la muestra en relación a otras labores en actividad o abandonadas, y la posición del sondeo con indicación de la profundidad.



Dibujo 1: Esquema del frente. Fuente: Hulleras del Norte S.A.

Se deben complementar también los siguientes datos:

Guía - Nivel que avanza	
Distancia de posteo (m)	
Sección	1UF – 2UA – 450C
Potencia de capa (m)	
Inyección	SI - NO
Ventilación	Soplante – Aspirante - Mixta
Longitud del taladro con el que se barrenó (m)	
Perforación	Normal – Blanda - Dura
Detritus	Escaso – Normal – Abundante – Muy abundante
Grano	Normal – Grueso - Fino

Figura 2: Tabla complementaria de toma de datos. Fuente: Hulleras del Norte S.A.



PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO II

El último paso, consiste en enviar las muestras introducidas en los sobres a un laboratorio en el que serán analizadas. El análisis a realizar en estas muestras tiene como fin conocer el porcentaje de cenizas de dicho carbón.

El procedimiento consiste en lo siguiente:

1. En una cápsula de porcelana o platino desecada y tarada con su tapa se pesan de 1 a 2 gramos de la muestra preparada, es decir, previamente secada y triturada para que pase por un tamiz de 0,2 mm de abertura (en este caso este paso no es necesario puesto que la muestra viene ya en ese estado).
2. Se coloca la cápsula sin tapa en el horno frío y se eleva la temperatura de éste hasta los 500° en 30 minutos.
3. Se continúa el calentamiento para llegar a la temperatura final de 815° en otro periodo de 30 a 60 minutos, manteniendo esta última temperatura hasta obtener el peso.
4. Tras la incineración, se cubre la cápsula con su tapa, se saca del horno y se deja enfriar, primero sobre una placa metálica durante 10 minutos, luego en un desecador y, por último, se pesa.

El tanto por ciento en cenizas será:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{p}{P} \times 100$$

Siendo:

p el peso del residuo de la incineración.

P el peso de la muestra.

El horno utilizado debe ser eléctrico de mufla y dotado de un equipo pirométrico para mantener constancia de la temperatura.



ANEXO III: PREVENCIÓN DE FENÓMENOS GASEODINÁMICOS. MÉTODOS DE PREVENCIÓN.



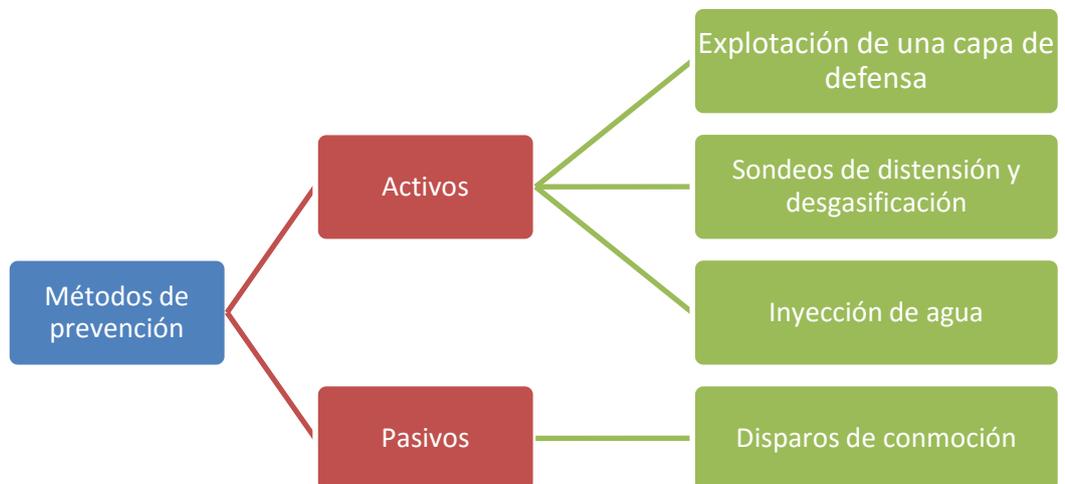
INTRODUCCIÓN

Los fenómenos gaseodinámicos, como se ha indicado anteriormente, pueden ocasionar importantes problemas en las labores mineras con capas de carbón en las que los índices de riesgo han sobrepasado los valores umbrales establecidos.

En resumen, en una labor existe posibilidad de que se dé un fenómeno gaseodinámico cuando se dan una o varias de las siguientes condiciones:

- Existe una sobrepresión.
- La velocidad de desorción $V_{1p} > 2 \text{ cm}^3/10 \text{ g} /35 \text{ s}$.
- La concentración de gas $C > 9 \text{ (m}^3/ \text{tp)}$.

Los métodos de prevención se clasifican del siguiente modo:



MÉTODOS ACTIVOS

Son aquellos que eliminan el riesgo mediante la distensión y desgasificación previa del macizo de carbón.



Explotación de una capa de defensa

Consiste en producir una distensión del terreno mediante la explotación de una capa cercana. El efecto que se produce es como el mostrado en la imagen:

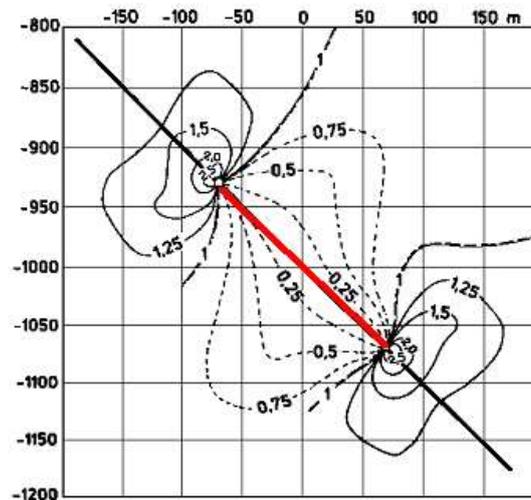


Figura 3: Capa égida. Fuente: Manual de FGD

Sondeos de desgasificación y distensión

Estos sondeos son un método eficaz para evitar la generación de fenómenos gaseodinámicos, su finalidad es doble, por un lado, al perforar se genera una redistribución de las tensiones que provoca una distensión local de la zona afectada por el sondeo. Por otro lado, esta fisuración permite el flujo de grisú consiguiendo así la desgasificación de la zona influenciada.

La eficacia del sondeo realizado depende de la amplitud de la zona distendida, que tiene forma de cilindro con el sondeo por eje y cuyo diámetro puede variar de unos pocos cm hasta 15 cm. Esta gran variación en el diámetro depende de las características mecánicas del carbón y del estado tensional del macizo, ambos factores determinan la diferencia entre un sondeo no efectivo y uno espectacularmente beneficioso.



Tras la realización de cada sondeo es necesaria la elaboración de un informe en el que se recogen los parámetros de perforación por cada metro de avance. Es importante prestar atención a los finos que se producen, a las emisiones de grisú, a la dureza del carbón y a cualquier otro dato, todos ellos deben ser anotados en la hoja de datos.

Se realiza también una medición de la concentración del grisú en capa antes y después del sondeo para poder valorar su eficacia.

En las dos imágenes siguientes se observa la concentración del grisú en capa y la velocidad de desorción V_{1p} antes y después del sondeo de desgasificación y distensión.

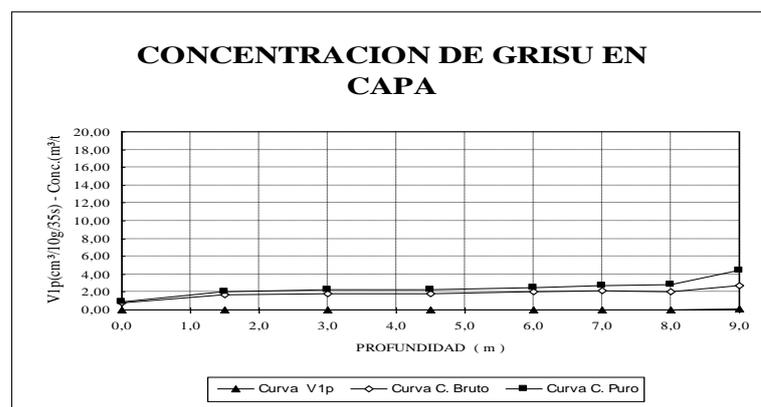
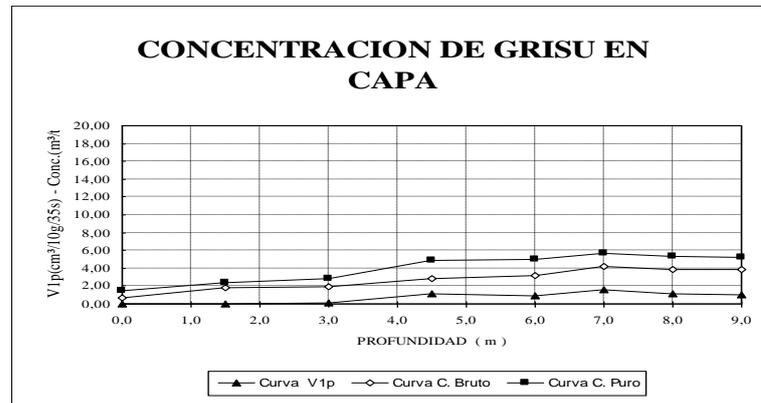


Figura 4: Curvas de concentraciones antes y después de los sondeos de desgasificación.
Fuente: Manual de FGD



Inyección de agua a presión

Mediante la inyección de agua se facilita la distensión del macizo próximo de carbón mediante la traslación de la concentración máxima de tensiones alejándose del frente. Del mismo modo que en el caso anterior la fisuración de la zona distendida permite el flujo del grisú hacia el frente y la desgasificación del macizo.

La eficacia de este método depende de los siguientes parámetros:

- La inyectabilidad del carbón, es decir, la aptitud que presenta el mismo a ser penetrado por el agua a presión.
- El mantenimiento de la estabilidad del frente de carbón durante la inyección, es decir, que no provoque derrabes.

La inyección de agua en capa se caracteriza por los siguientes parámetros:

- La profundidad.
- El tiempo de inyección.
- La presión de inyección.
- Caudal de agua inyectada.
- Concentración de grisú en el ambiente como consecuencia de la desgasificación del macizo.

El proceso se considerará válido si una vez tomados los valores tras su aplicación éstos se encuentran por debajo de los índices de riesgo, de lo contrario no se autorizará la continuación en el avance.

Se diferencian dos tipos de inyección de agua:

Inyección a alta presión

En este tipo de inyección el agua se inyecta en red y no se necesita bomba. La goma de las cánulas debe ser de baja dureza.



Inyección a baja presión

Se necesita una bomba (de 20 a 250 kg/cm²)

La goma de las cánulas debe ser de alta dureza.

MÉTODOS PASIVOS

Disparos de conmoción

Con estos disparos se pretende iniciar la liberación de la energía elástica almacenada en el carbón, para evitar su acumulación.

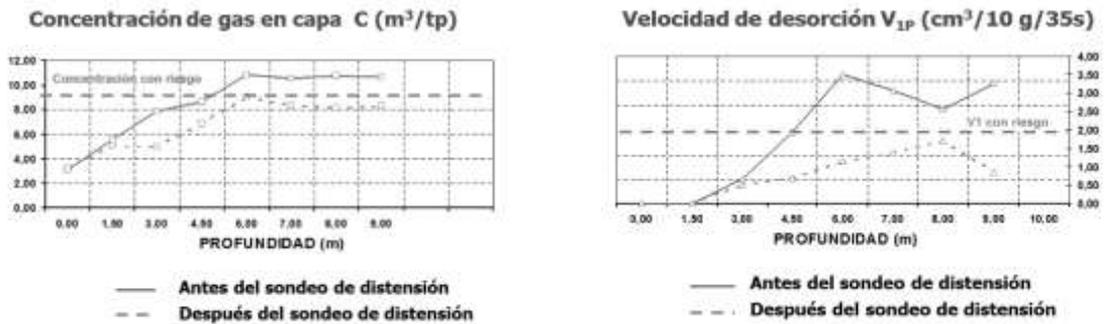


Figura 5: Concentraciones y velocidades de desorción antes y después de los sondeos de distensión.

Fuente: Manual de FGD



ANEXO IV

ESPECIFICACION TECNICA 0308-5-92. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DESORBIBLE DE GRISÚ EN CAPA

1. OBJETO

La presente especificación técnica tiene como objeto establecer el procedimiento de medida de la concentración desorbible del grisú contenido en las capas de carbón.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta técnica se aplica a los frentes en carbón en las minas subterráneas con el fin de conocer la grisuosidad de las capas de un yacimiento.

3. DEFINICIONES

3.1 Concentración desorbible de grisú en capa

Cantidad de gases (metano, etano, CO₂, etc.) que se desorbe del carbón desde el momento en que es arrancado hasta después de ser molido en un recipiente estanco en atmósfera de metano a 1 bar (105 Pa). La concentración desorbible de grisú se expresa en m³ de gas desprendido por tonelada de carbón libre de cenizas (tp) m³/tp.

4. MATERIAL NECESARIO PARA LA MEDICION

Material de mina:

- ✓ termómetro
- ✓ cronómetro
- ✓ barómetro
- ✓ desorbómetro
- ✓ 10 recipientes de plástico de 1 litro para toma de muestras
- ✓ tamiz de 0,8 mm



- ✓ tamiz de 2 mm
- ✓ 12 barrenas helicoidales huecas de 1 m
- ✓ perforadora rotativa con inyección de aire
- ✓ metanómetro
- ✓ recipiente calibrado para 10g de carbón

El tapón de los recipientes de plástico debe disponer de un tubo de goma que permita aspirar la atmósfera del interior del recipiente sin abrirlo.

Material de laboratorio:

- ✓ balanza de precisión
- ✓ buretas con soporte
- ✓ cubeta
- ✓ molino de bolas estanco
- ✓ pera entrada-salida
- ✓ Bolsas para muestras
- ✓ botellas de metano

5. PRACTICA DE LA MEDICION DE LA CONCENTRACION DESORBIBLE DE METANO EN CAPA

La base del método es la toma de muestras de carbón en una capa, mediante un sondeo de 10-12 m, en las que se mide el desprendimiento de metano producido en diversas etapas; durante la toma de muestras, durante el transporte al laboratorio y durante la molienda de éstas.



6. OPERACIONES A REALIZAR EN LA MINA

Tomar el % de grisú en la atmósfera del lugar donde se va a realizar la toma de muestras y anotarlo.

Picar levemente en el corte recogiendo la muestra sobre los tamices; de la fracción comprendida entre 0,8 y 2 mm se toman 10g con el recipiente calibrado.

Introducir los 10g recogidos en un frasco de plástico de 1 litro debidamente numerado.

En una libreta se anota el nº del recipiente correspondiente a la muestra del corte.

A partir de este momento, se comienza a perforar y sacar muestras de distintas profundidades.

Cuando se han introducido las barrenas 1,30 m se interrumpe la operación de perforar y se limpia bien el sondeo con inyección de aire a la vez que se mueven las barrenas.

Una vez limpio el sondeo, se continúa la perforación con la inyección de aire, a la vez que junto a la boca se colocan los tamices para recoger la muestra (que viene de 1,5 m de profundidad aproximadamente) y se comienza a cronometrar.

Cuando se observe que se ha recogido muestra superior a 10 g se retiran los tamices y se agitan, y con el recipiente medidor se recogen 10g de la fracción 0,8 - 2mm que se introducen en el desorbómetro.

Una vez puesto el tapón en el desorbómetro se mira el cronómetro y, transcurridos 35 segundos desde que se comenzó a cronometrar, se cierra el orificio del desorbómetro, manteniéndolo en esa posición durante otros 35 segundos.



Es conveniente que la toma de muestra se procure realizar en los 35 segundos mencionados y no conviene que exceda de 55 segundos.

En el caso en que el tiempo de duración de la recogida e introducción de la muestra sea superior a 35 segundos, se aplicará la siguiente tabla:

Tiempo de recogida de la muestra (s)	Tiempo de la muestra en el desorbómetro (s)
35	36
40	37
45	39
50	41
55	43
60	44

Transcurrido el tiempo señalado, se vuelca el contenido del desorbómetro en un recipiente de muestras de 1 litro numerado y se cierra herméticamente.

Se anota en la libreta el nº del recipiente, la profundidad a la que se ha tomado la muestra y el valor que marcó el desorbómetro ("p" si el desorbómetro está graduado en mm de agua, que debe corregirse con el factor k del aparato, o bien, directamente "q" si el desorbómetro está graduado en cm³/ 10g).

Las mismas operaciones se deben realizar a los 3; 4,5; 6; 7; 8; 9; 10 y 11 m de profundidad del sondeo.

Por último, se toma nota de la temperatura y presión en el lugar de la toma.

Los recipientes en donde se van a transportar las muestras deben estar previamente abiertos, para que se llenen de la atmósfera ambiental de la mina, comprimiéndolos y descomprimiéndolos con antelación a la introducción de la muestra.



7. OPERACIONES A REALIZAR EN EL LABORATORIO

Una vez realizadas la toma en la mina, se llevan las muestras al laboratorio donde se deben analizar antes de transcurrir más de 5 o 6 horas desde la toma.

Se mide la presión y temperatura del laboratorio.

Se toma la muestra del corte en primer lugar, se acopla el tubo de goma del tapón del recipiente a un metanómetro y se aspira con la pera el aire del recipiente, anotando el contenido de metano medido (x).

Se abre el recipiente, se saca la muestra y se pesa; la cantidad pesada debe estar próxima a los 10 g. Si excede en más de 3g de esta cantidad, se toman 10g y se introducen en el recipiente del molino.

Previamente se habrá preparado el recipiente estanco con sus filtros, para evitar que el polvo producido se introduzca en los conductos. El sistema de buretas estará acoplado al molino para recoger el gas desprendido.

Las buretas estarán debidamente enrasadas para medir el gas que se desprende.

A continuación, se cierran los recipientes estancos observando que el cierre es hermético y no hay fugas en ningún conducto.

Antes de poner en marcha el molino, hay que sustituir la atmósfera de aire del recipiente por metano a la presión atmosférica.

Se pone en marcha el molino y se tiene en funcionamiento hasta que no se desprenda ninguna burbuja en las buretas; esto tiene lugar entre los 20-30 minutos.

Parado el molino, se anotan los cm^3 de gas desprendido durante la molienda. (Q_3').



Se extrae la muestra del recipiente estanco y se introduce en una bolsa de plástico que esté previamente marcada con la indicación de la muestra.

Se procede a analizar el contenido en cenizas de la muestra, según UNE 32004.

El mismo proceso se realiza con las restantes muestras.

Obtenidos todos los datos, se rellena la correspondiente ficha de control. El valor de la concentración desorbible del gas en la capa se obtiene de la gráfica concentración desorbible - profundidad del sondeo. Así mismo se reflejará, en un croquis acotado, la posición de la zona donde se tomó la muestra con relación a otras labores en actividad o abandonadas, y la posición del sondeo con indicación de su profundidad.

Para obtener el valor de la concentración, C, se puede hacer un ajuste por mínimos cuadrados en la zona horizontal, o bien se puede obtener visualmente el valor asintótico.

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GRISÚ EN CAPA

CALCULO

El procedimiento de medida de la concentración de grisú en la capa de carbón se establece en la Especificación Técnica 0308-5-92 del Ministerio de Industria, en la que se define como la cantidad de gas que se desorbe del carbón desde el momento en que es arrancado hasta después de ser molido en un recipiente estanco en atmósfera de metano a 1 bar. La concentración describible de grisú se expresa en m^3 de gas desprendido por tonelada de carbón libre de cenizas (m^3/tp).

La base del método es la toma de muestras de carbón en capa, a intervalos de 1 m en un sondeo de 10 -12 m, midiendo el desprendimiento de metano en la toma de la muestra (Q_1), durante el transporte al laboratorio (Q_2) y durante la molienda (Q_3).



El valor de Q_1 se estima mediante la fórmula:

$$Q_1 = 3,4 q$$

donde:

q ($\text{cm}^3/35\text{s}$) es el valor obtenido en la lectura del desorbómetro.

El valor de V_{1p} ($\text{cm}^3/35\text{s}/10\text{g}$) se deduce reduciendo el peso de la muestra a 10 g.

El grisú desprendido durante el transporte en frasco hermético desde el frente de trabajo al laboratorio, Q_2 , se calcula mediante la expresión:

$$Q_2 = \frac{(x - x_0)}{(100 - x)}$$

Donde:

x es la concentración de grisú en el frasco (GRISU).

x_0 es la concentración de grisú en la mina.

Durante la molienda de la muestra, se desprende la cantidad de grisú Q_3 , que es igual a:

$$Q_3 = Q_3' \times \frac{P_1}{P_m} \times \frac{273 + t_m}{273 + t_1}$$

Donde:

Q_3' es el volumen de grisú desprendido por la muestra en el molino.

P_m y P_1 son las presiones en la mina y en el laboratorio (cm de columna agua).



T_m y t_l son las temperaturas en la mina y en el laboratorio.

La concentración de grisú por tonelada bruta de carbón (m3/tb) es:

$$C_B = \frac{Q_1 + Q_2}{m} + \frac{Q_3}{m'}$$

donde:

m es el peso de la muestra de carbón (10g aproximadamente).

m' es el peso del carbón introducido en el molino.

La concentración desorbible se calcula mediante la expresión:

$$C = \frac{C_B}{1 - \frac{1,1 C_E}{100}}$$

en la que C_E es el % de cenizas de la muestra.



ANEXO V

ESPECIFICACION TECNICA 0307-6-92 MÉTODO DE MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE DESORCIÓN (V₁) DEL GRISÚ.

1. OBJETO

La presente especificación técnica tiene como objeto establecer el procedimiento de medida de la velocidad de desorción, V_1 , del metano, en los frentes de avance en carbón de las minas subterráneas. Dicha velocidad de desorción se expresa en cm^3 desorbidos por 10 g de carbón.

2. CAMPO DE APLICACION

Esta especificación técnica es aplicable a los equipos y procedimientos usados en el interior de las minas subterráneas de carbón para determinar la velocidad V_1 , (en $\text{cm}^3/10\text{g}$) de desorción del metano en los frentes de avance en carbón.

3. DEFINICIONES

La velocidad de desorción del metano contenido en un carbón se valora mediante el índice V_1 el cual expresa la cantidad en cm^3 de grisú que se desprende en una muestra de carbón de 10 g, con una granulometría entre 0,5 y 0,8 mm, entre los segundos 35 y 70 después de haber sido arrancada del macizo de carbón.

El índice V_1 de una idea de la cinética de desorción del gas contenido en el carbón. Así mismo es un parámetro más para cuantificar el riesgo de desprendimiento instantáneo en una capa de carbón.



4. MATERIAL NECESARIO

En mina:

- 1 Perforadora rotativa con inyección de aire.
- 5 Barrenas helicoidales.
- 1 desorbómetro
- 1 tamiz de 0,5 mm.
- 1 Tamiz de 0,8 mm.
- 1 Cronómetro
- 1 Recipiente calibrado para 10 gramos de carbón

5. MODO OPERATORIO

El modo operatorio es el siguiente:

Con una perforadora rotativa y barrenas de longitud superior a 3 m, se realiza un sondeo preferiblemente con cierta inclinación hacia arriba para favorecer la salida de detritus.

Una vez alcanzada la longitud a la que se desea realizar la medición, normalmente 2 y 3m, se limpia bien el sondeo y se continua la perforación a la vez que se pone en marcha un cronómetro y se sitúan dos tamices de 0,8 y 0,5 mm en la boca del sondeo para recoger el detritus que salga. Cuando se observe que se ha recogido suficiente detritus, se retiran los tamices y se agitan para tener un buen cribado.

Con un recipiente aforado, se recogen 10 g de carbón del tamaño comprendido entre 0,5 y 0,8 mm y se introducen en un manómetro de esfera (desorbómetro) adaptado para la medida de V_1 (ver Fig. 1 y Anexo 1).

Una vez introducido, se coloca el tapón y se mira el cronómetro, si ha llegado a los 35 segundos o los ha superado se tapa con el dedo el orificio libre que tiene el desorbómetro; (si no se ha llegado a los 35 segundos, se espera hasta que se alcance el segundo 35) momento en el que se tapaná el orificio.



El tiempo idóneo para esta operación es el de 35 segundos, pero puede ser que no se respete por lo que variará el tiempo que ha de permanecer la muestra en el desorbómetro de acuerdo con la siguiente tabla:

Tiempo de recogida de la muestra (s)	Tiempo de la muestra en el desorbómetro (s)
35	36
40	37
45	39
50	41
55	43
60	44

Una vez que la muestra ha permanecido en el desorbómetro el tiempo indicado.

El valor V_1 se representa en un gráfico en el que en abscisas aparece la distancia a un punto de referencia desde donde se han comenzado a tomar muestras; es decir, diariamente, por ejemplo, en un frente de avance se tomará una muestra a 3m observándose en el diagrama la evolución del índice V_1 conforme se avanza en un macizo, lo que permite saber la distinta evolución de la velocidad de desorción con indicación de la posible zona de riesgo.

Los lugares donde conviene realizar este tipo de medidas son aquellos en donde se realiza un avance diario en carbón y éste no ha desgasificado, es decir, está alejado de labores que lleven tiempo abiertas. Los lugares característicos son las galerías de base de futuros macizos en explotación o los transversales nuevos que van a cortar la capa, realizándose en este caso la medida aproximadamente cuando quedan unos 5-6 m para descubrir la capa, se sondea en la roca y cuando se llega al carbón se comienzan a tomar muestras y a medir V_1 a lo largo del sondeo y en toda la potencia de la capa.



Calibración de la escala graduada

Para la calibración del desorbómetro se emplearán 10 g de carbón que se introducen en el recipiente R. Una vez cerrado el tubo T y con el tapón inferior puesto, se introducirán a presión mediante una jeringuilla, progresivamente, cantidades fijas de aire (1 cm³, 2cm³, 3 cm³, etc). Las presiones indicadas en la escala corresponden a los valores de V₁ equivalentes al volumen de metano introducido.



ÁNGULOS DE PROTECCIÓN

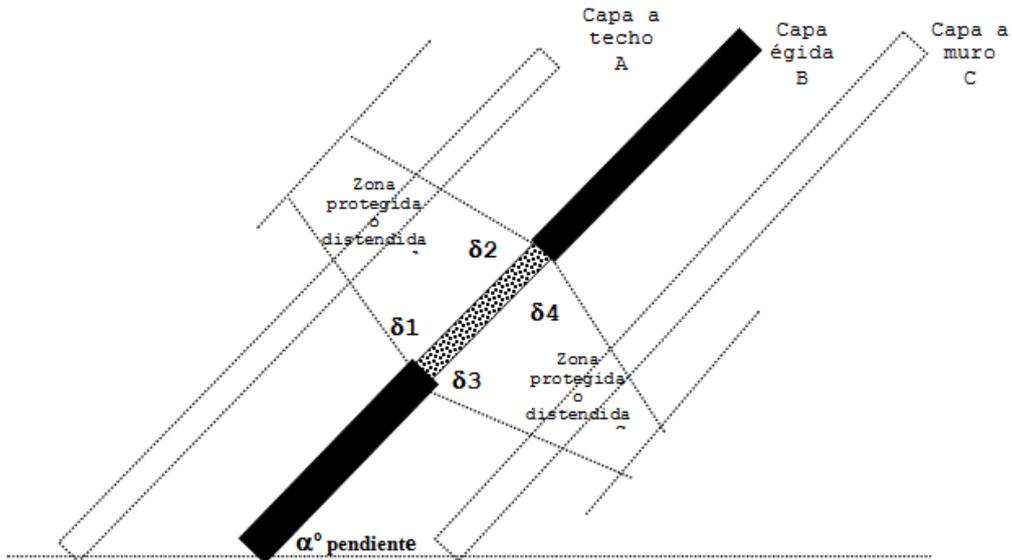
Zona protegida por la explotación de una capa égida

De acuerdo con la reglamentación de la antigua URSS y según los estudios realizados por técnicos del Instituto MAKNI en HUNOSA, la determinación de la zona protegida por la explotación de una capa égida (capa B en el esquema), tanto sobre las capas de techo (capa A) como sobre las de muro (capa C), se realiza de acuerdo con los esquemas adjuntos y los valores de los “ángulos de protección” que se relacionan en la tabla:

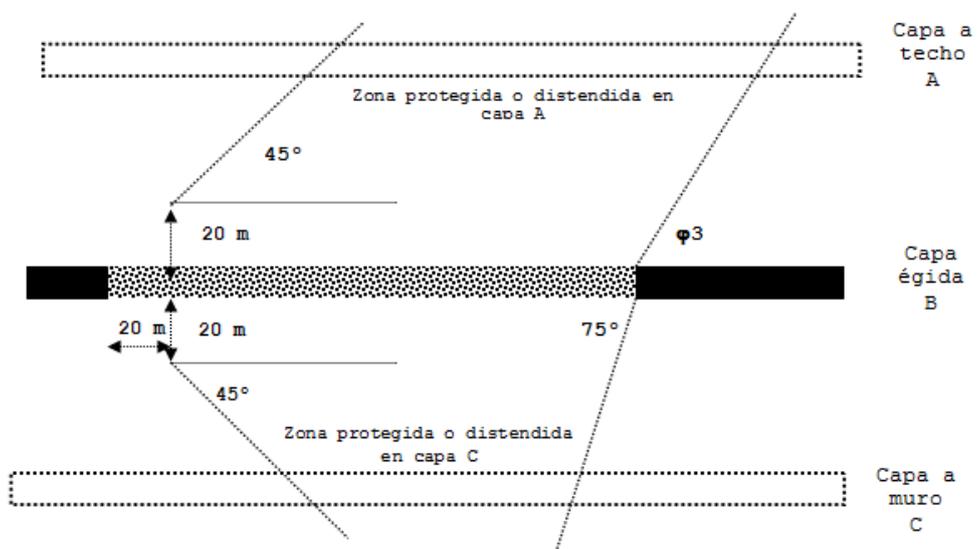
Pendiente α (grados °)	Ángulos de protección (grados °)				
	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	$\delta 4$	$\phi 3$
0	80	80	75	75	64
10	77	83	75	75	63
20	73	87	75	75	61
30	69	91	77	70	59
40	65	95	80	70	57
50	74	96	80	70	55
60	72	98	80	70	53
70	74	96	80	72	52
80	70	92	78	75	50
90	75	80	75	80	48



Esquema para la determinación de la zona protegida, en sección perpendicular a la dirección de avance del taller



Esquema para la determinación de la zona protegida, en la dirección de avance del taller





Zonas de sobretensión creadas por el abandono de macizos residuales en la explotación de una capa égida

La determinación de las zonas de sobretensión creadas por el abandono de macizos residuales en la explotación de una capa égida (capa B en el esquema), tanto sobre las capas de techo (capa A) como sobre las de muro (capa C), se realiza de acuerdo con los esquemas adjuntos y los valores de los “ángulos de sobretensión” que se relacionan en la tabla:

Pendiente α (grados °)	Ángulos de protección (grados °)				Ángulos de sobretensión (grados °)		
	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	$\delta 4$	$\varphi 1$	$\varphi 2$	$\varphi 3$
0	80	80	75	75	64	64	64
10	77	83	75	75	62	63	63
20	73	87	75	75	60	60	61
30	69	91	77	70	59	59	59
40	65	95	80	70	58	56	57
50	74	96	80	70	56	54	55
60	72	98	80	70	54	52	53
70	74	96	80	72	54	48	52
80	70	92	78	75	54	46	50
90	75	80	75	80	54	43	48



Esquema para la determinación de las zonas de sobretensiones, en la dirección de avance del taller

