

**INFORME SOBRE EL PROYECTO:**  
**“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE**  
**METANO EN MINA DE CARBÓN PARA SU**  
**APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y**  
**REDUCCIÓN DEL EFECTO INVERNADERO”**

Miguel Ángel Zapatero Rodríguez  
Isabel Suárez Díaz  
Roberto Martínez Orío

**Febrero 2008**

## CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN. ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. FASE 1: RECOPIACIÓN Y ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL.....</b>	<b>6</b>
2.1 Área de Barruelo .....	8
2.2 Área de Santa María de Redondo.....	10
2.3 Área Casavegas .....	10
2.4 Área San Cebrián o La Pernía .....	11
<b>3. FASE 2: REALIZACIÓN DEL INVENTARIO.....</b>	<b>14</b>
<b>4. FASE 3: TRABAJOS DE CAMPO, BASES DE DATOS Y SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS.....</b>	<b>16</b>
4.1 Trabajos de campo y bases de datos.....	16
4.2 Selección de emplazamientos.....	17
<b>5. FASE 4: INGENIERÍA BÁSICA.....</b>	<b>22</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>ANEXO I: Fichas de control de explotaciones mineras</b>	
<b>ANEXO II: Bases de datos de análisis de laboratorio</b>	
<b>ANEXO III: Informe Técnico de Aitemin</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Distribución en áreas de la cuenca de La Pernía – Barruelo. Fuente: Inventario de Recursos Nacionales de Carbón, IGME 1985.....	7
FIGURA 2. Esquema geológico del sinclinal de Barruelo. Fuente MAGNA.....	8
FIGURA 3. Corte representativo de la cuenca de Barruelo de Santullán. Fuente: Investigación geológico-minera de la cuenca de Barruelo de Santullán. IGME-ADARO 1979.....	8
FIGURA 4. Cartografía de la Cuenca de San Cebrián. Hoja MAGNA nº 107.....	13
FIGURA 5. Escombrera en el cierre Este del sinclinal de Castillería.....	13
FIGURA 6. Recogida de muestras en escombrera y capa en afloramiento, limpiando el frente con una pala.....	16
FIGURA 7. Cuenca de Barruelo. Situación de las muestras y correlación de datos.....	17
FIGURA 8. Toma de medidas en el Pozo Calero.....	18
FIGURA 9. Equipos utilizados en la toma de medias.....	18
FIGURA 10. Curva de relación entre la presión barométrica y las emisiones de metano de una mina abandonada en EEUU.....	19
FIGURA 11. Escombrera de la mina Carbura.....	20
FIGURA 12. Toma de muestra de gas del Pozo Peragido.....	17
FIGURA 13. Esquema de ventilación del Pozo Calero. Fuente: AITEMIN.....	22
FIGURA 14. Esquema de ventilación del grupo Antracitas de Montebismo. Fuente: AITEMIN.....	23

## 1. INTRODUCCIÓN. ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA

La preocupación por el cambio climático y sus posibles consecuencias es global en todo el planeta, existiendo múltiples grupos científicos y empresariales que dedican importantes esfuerzos en reducir las emisiones de forma económica y ambientalmente aceptable, en las múltiples vertientes del problema.

A continuación se indica el estado actual de la técnica en los distintos campos que afectan a las actividades propuestas en el proyecto:

- **Aprovechamiento de metano en minas de carbón abandonadas**

Esta tecnología se ha desarrollado durante los últimos años en Europa, debido al acelerado proceso de cierre de minas que se ha producido en el seno de la Unión Europea. Los principales impulsores son países tradicionalmente mineros como el Reino Unido o Alemania. Así, ejemplos como los de las minas Shirebrook, Markham, o Steetley en el Reino Unido, o los proyectos llevados a cabo en la cuenca del Ruhr en Alemania, demuestran la viabilidad y el interés de la idea. En Alemania, la legislación también reconoce los proyectos de aprovechamiento de metano en mina como fuente de energía renovable, con lo que goza de beneficios fiscales e incentivos económicos.

La tecnología es por lo tanto conocida, aunque últimamente se están desarrollando nuevos sistemas de aprovechamiento que permiten optimizar el proceso, y trabajar con gases más pobres, lo que puede ampliar el abanico de minas susceptibles de aprovechamiento.

A nivel español no se ha realizado hasta el momento ninguna experiencia industrial de este tipo, aunque existen una primera iniciativa al respecto con ocasión del cierre de los Pozos Pumarabule y Mosquitera de Hunosa, a cargo de la empresa Hidrocarburos del Cantábrico, S.A.

Para posibilitar el desarrollo de esta tecnología en nuestro país, es preciso conocer las disponibilidades de este recurso, lo que requiere un estudio previo de las emisiones existentes en las minas de carbón cerradas, que no se ha realizado hasta la fecha y que es una de las actividades llevadas a cabo en el presente proyecto.

- **Aprovechamiento de emisiones de minas activas (VAM)**

En las minas activas el metano sale diluido con el aire de ventilación, en concentraciones muy bajas (típicamente en torno al 1 %), por lo que su aprovechamiento no resulta fácil técnicamente. Sin embargo, en los últimos tiempos se están desarrollando diversas técnicas para ello, dentro de lo que se denomina genéricamente VAM (Ventilation Air Methane). Las principales técnicas desarrolladas hasta la fecha son:

- Reactor oxidante de flujo reversible
- Microturbinas de combustible pobre
- Sistemas híbridos de carbón y VAM
- Concentradores de metano
- Uso como aire suplementario en caldera

La primera aplicación ha sido probada con éxito en diferentes labores del Reino Unido y Australia. En este último país se han llevado a cabo las más recientes aplicaciones, como en la mina Appin, donde se aprovecha el metano contenido en el caudal de ventilación (6000 m<sup>3</sup>/h) para generar agua caliente. Finalmente, en la mina West Cliff se ha instalado un sistema capaz de generar 6 MW de electricidad aprovechando el caudal de retorno de la ventilación.

Si por el contrario la composición o contenido energético de este gas no aconseja su aprovechamiento energético, el modo de mitigar las emisiones se puede realizar mediante la combustión en un quemador: La combustión de metano produce emisiones de CO<sub>2</sub>, pero este gas tiene un potencial de calentamiento 21 veces menor.

- **Extracción de metano en minas de carbón activas (CMM)**

El drenaje del metano de las minas de carbón que tienen un alto contenido en este gas se viene realizando desde antiguo por razones de seguridad, mediante sondeos realizados desde el interior, bien en capa (previamente a la explotación), o bien en el relleno (posteriormente a la explotación). En la minería europea, este gas se conduce al exterior mediante tuberías y se aprovecha directamente por medios convencionales, ya que tiene un alto contenido en metano.

En la minería española se utiliza el drenaje de metano en algunos casos concretos, siendo Hunosa y la Hullera Vasco-Leonesa las empresas con mayor experiencia en este campo. De hecho la Hullera Vasco Leonesa está actualmente desarrollando un proyecto de investigación en este campo, en colaboración con AITEMIN (proyecto europeo “SAFETECH”). De todos modos, no existe experiencia en nuestro país en el aprovechamiento energético del gas extraído, que normalmente se vierte en el aire de retorno de ventilación. Las razones para ello son puramente económicas (es necesario un largo tendido de tuberías) y no de índole tecnológica.

- **Extracción del metano retenido en capas de carbón no explotadas (CBM)**

Las técnicas de CBM (Coal Bed Methane) han tenido un gran auge en los últimos años en países como Estados Unidos, debido a unas favorables condiciones geológicas de algunos yacimientos y a los incentivos fiscales para este tipo de energía. El desarrollo de técnicas petroleras, como los sondeos direccionales o la estimulación de fracturas, ha permitido un aumento de la producción por sondeo realizado. Actualmente en Estados Unidos existen más de 2000 sondeos de producción de gas en capas de carbón, repartidos por tres cuencas carboneras (Warrior, San Juan y Powder River).

También en Australia y China se ha incrementado la utilización de esta técnica, si bien por motivos de falta de demanda del producto obtenido, en el primer caso, o de infraestructura, en el segundo, no se ha producido todavía un despegue de esta tecnología, aunque las perspectivas son muy positivas. En China, por ejemplo, se espera que en el año 2010 se alcance una producción de  $10 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/año.

En 2004, el Instituto Geológico y Minero de España inició el proyecto titulado “Evaluación de las emisiones de metano en mina de carbón para su aprovechamiento energético y reducción del Efecto Invernadero”, para lo que se contó con la colaboración de AITEMIN y se solicitó una ayuda económica al Programa de Fomento de la Investigación Tecnológica (PROFIT) del Ministerio de Ciencia y Tecnología, que fue concedida, otorgando al proyecto la clave FIT – 050000 – 2003 – 88.

Los objetivos fundamentales del proyecto, que fueron definidos al comienzo del mismo, son tres:

1. Puesta a punto de una metodología de evaluación de las emisiones de CH<sub>4</sub> producidas en las minas de carbón abandonadas de las cuencas españolas, de modo que se pueda conocer con exactitud el impacto que estas emisiones provocan en el medio ambiente.
2. Estudiar la posibilidad de aprovechar este gas (CMM en literatura anglosajona) para la generación de energía eléctrica, evitando de esta forma su emisión a la atmósfera y generando una energía más limpia.
3. Mitigar la dependencia exterior de España en combustibles fósiles y generar una actividad alternativa en las deprimidas cuencas mineras.

Para cubrir estos objetivos, se decidió planificar unas etapas, de las que la primera es el proyecto de tres años que se preparó y presentó al Programa PROFIT. Se decidió comenzar recabando la información disponible en los archivos del IGME y de las empresas mineras de las cuencas de La Pernía (Palencia) y Guadiato (Córdoba), de tal manera que se pudiera realizar una base de datos de las emisiones de metano a la atmósfera procedentes de la minería abandonada.

Además, se comenzaría a adquirir los equipos y a diseñar los montajes necesarios para obtener la información no disponible en los archivos, y evaluar con precisión las emisiones de metano. Este informe resume las actuaciones llevadas a cabo y los resultados y conclusiones extraídos de estas actuaciones.

## **2. FASE 1: RECOPIACIÓN Y ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

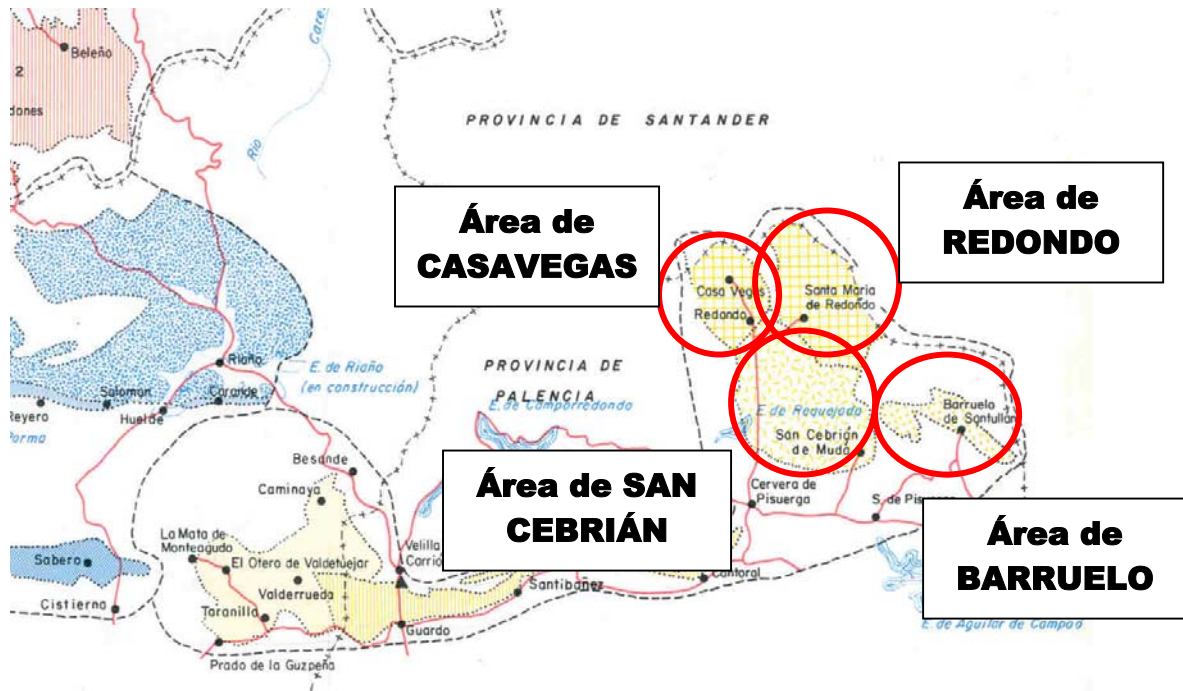
En el fin del año 2004, el proyecto dio sus primeros pasos con la recopilación de información de las cuencas carboníferas de La Pernía–Barruelo en la provincia de Palencia. Por una parte, se buscó la información geológico–minera existente en el servicio de documentación del IGME, correspondiente a las campañas de investigación desarrolladas en los años 70 y 80 en relación con el Plan Energético Nacional por el propio IGME y la Empresa Nacional Adaro (ENADIMSA). Asimismo, se encontraron otros proyectos particulares desarrollados por las empresas que han sido concesionarias de las cuencas y que aportan información valiosa sobre las labores desarrolladas, los niveles de explotación, de inundación, desprendimientos de gas, accidentes etc.

Por otra parte, se entró en contacto con la empresa Unión Minera del Norte S.A. (UMINSA), que actualmente explota las minas activas de las cuencas. Se recibió la ayuda del jefe de explotación del Sector Barruelo, D. Fernando Gómez de Cos, que aportó abundante información, acerca de las características de las cuencas, así como de las explotaciones activas e inactivas de la misma.

También en el ámbito del proyecto se estableció colaboración con la empresa HULLERAS DEL NORTE, que fructificó en un Convenio de colaboración firmado entre la citada empresa y el IGME en 2007, para realizar los mismos trabajos de estudios de metano en capa de carbón desarrollados en el marco de este proyecto.

Han existido dificultades a la hora de acceder a la información necesaria para el desarrollo de la investigación y la escasez de documentación disponible sobre antecedentes de emisiones de metano, han hecho priorizar unas áreas sobre otras, por ello se decidió profundizar a mayor ritmo en la cuenca de Palencia y dejar esas áreas para trabajos posteriores.

De la documentación recopilada, se obtuvo una valiosa información sobre la cuenca de La Pernía–Barruelo. Los datos más destacados se resumen a continuación:



**Figura 1:** Distribución en áreas de la cuenca de La Pernía – Barruelo  
Fuente: Inventario de Recursos Nacionales de Carbón, IGME 1985.

1. La cuenca de La Pernía–Barruelo está subdividida en cuatro áreas o unidades: Área La Pernía o San Cebrián, Área de Santa María de Redondo, Área de Casavegas y Área de Barruelo.
2. Al comienzo de este proyecto las únicas minas activas estaban en Santa María de Redondo (Pozo Montebismo) y en Barruelo (Pozo Peragido), el resto de la minería de la zona se encontraba en estado de abandono. Actualmente no existen minas en la zona en explotación, se han ido clausurando, por ello destacar la valiosa aportación de los datos aquí obtenidos en este proyecto.
3. En las cuatro áreas existen antecedentes de accidentes por desprendimientos súbitos y acumulaciones de gas. Los paquetes productivos estudiados son de edades similares, si bien se han correlacionado tan sólo los de San Cebrián y Casavegas, mientras que Barruelo y Redondo se mantienen al margen, aunque sus paquetes productivos se agrupan en una sola formación, llamada Formación Barruelo.
4. En todas las áreas hay abundante minería de montaña y también son frecuentes los pozos planos, siendo escasos los pozos verticales, salvo en el área Barruelo.
5. Las minas abandonadas están inundadas en su mayoría por debajo del nivel de las bocaminas, dada la elevada pluviometría de la zona, que ha recargado a gran velocidad los acuíferos deprimidos durante la explotación.

Una vez determinadas las características generales de la cuenca, se decidió estudiar de manera individual cada área, completando la información y los datos disponibles con estudios de detalle realizados con anterioridad y con el trabajo de campo que fuera necesario. La información obtenida por cada área fue la siguiente:

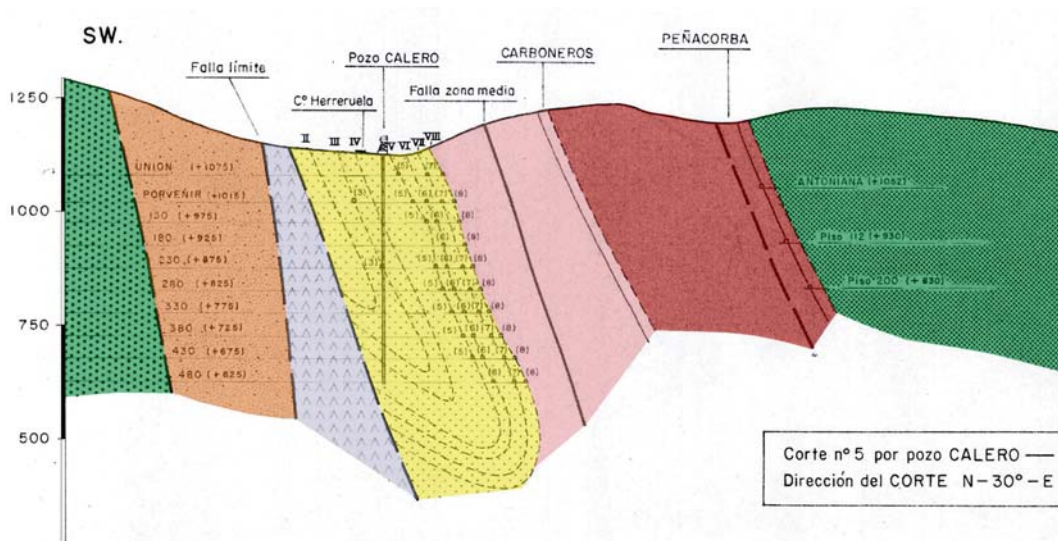


## 2.1 Área de Barruelo

El Área Barruelo comprende una lengua de terreno, de dirección SE-NO del Carbonífero Superior de unos 14 Km de largo (10 Km aflorantes y 4 Km no aflorantes) por 3 de ancho, cuya estructura es la de un sinclinal con el flanco Norte invertido y el flanco sur no aflorante, al ser cortado por una falla longitudinal denominada falla Límite. Contiene dos paquetes productivos, el Paquete Peñacorba, más antiguo, y el Paquete Calero, más moderno. Al estar el flanco invertido, el Paquete Peñacorba aparece a techo del paquete Calero.



**Figura 2:** Esquema geológico del sinclinal de Barruelo  
Fuente: MAGNA



**Figura 3:** Corte representativo de la cuenca de Barruelo de Santullán  
Fuente: Investigación geológico-minera de la cuenca de Barruelo de Santullán.  
IGME-ADARO 1979



El Paquete Calero contiene 8 capas principales, numeradas de I a VIII en números romanos, además de algunos carboneros o capas de importancia muy local. En el Paquete Peñacorba, se han localizado 5 capas numeradas del 9 al 13. La mayor intensidad de explotación se ha desarrollado históricamente en el Paquete Calero, si bien la única explotación activa en la actualidad explota las capas 9 y 10 del Paquete Peñacorba.

Las explotaciones más importantes del Paquete Calero son, de Este a Oeste: Pozo Campesinos (plano), Pozo Rafael, Pozo Peragido antiguo y Pozo Calero. Más hacia el Oeste hubo abundante minería de montaña, pero no quedan testigos de la misma, ya que las bocaminas fueron destruidas por las explotaciones a cielo abierto.

En cuanto al Paquete Peñacorba, las explotaciones de mayor relevancia son, de Este a Oeste: Pozo Peragido moderno (activo hasta el 2006 y plano), Pozo Peñacorba, Mina Baja, Mina Media y Mina Alta (estas tres últimas son transversales).

En la búsqueda de datos históricos sobre estas explotaciones, se encontró una gran dificultad, y es que el grueso de la documentación existente sobre la minería histórica obra en poder de la Sociedad Hullera Vasco – Leonesa, anterior concesionaria de la cuenca, y no se ha podido tener acceso a ella. Sin embargo, se cuenta con el “Proyecto de recuperación de la cuenca de Barruelo” encargado por Altos Hornos de Vizcaya, entonces propietaria de las concesiones, al IGME y a la Empresa Nacional Adaro en 1979. También se ha consultado documentación tanto antigua como moderna de revistas e informes existentes en los fondos documentales del IGME. El estudio y análisis de toda esta documentación aporta datos sobre los pozos Calero, Peragido antiguo y Rafael. Estos datos son los siguientes:

- **Pozo Calero:** El aire ventilado en la mina era de 28,3 m<sup>3</sup>/s y presentaba un contenido en metano del 0,3 % en volumen. Dado que la producción era de 245 Tm/día, se obtiene que el gas desorbido por tonelada de carbón producida era de 29,5 m<sup>3</sup>/Tm.
- **Pozo Peragido:** En este caso, el aire ventilado era de 11,3 m<sup>3</sup>/s y la concentración de metano en el mismo del 0,2 % en volumen. La producción del Pozo Peragido alcanzaba las 128 Tm/día, por lo que el gas desorbido por cada tonelada de carbón producida era de 15,3 m<sup>3</sup>.
- **Pozo Rafael:** Este pozo alcanzaba un volumen de aire ventilado de 18,4 m<sup>3</sup>/s con una concentración de metano puro en el mismo del 0,2 % en volumen. La producción era de 306 toneladas al día, por lo que el gas desorbido por cada tonelada de carbón producida era de 10,4 m<sup>3</sup>.

Esto significa que el Pozo Calero emitía más de 7000 m<sup>3</sup> diarios de metano a la atmósfera, el Pozo Rafael más de 3000 m<sup>3</sup> y el Peragido antiguo cerca de 2000 m<sup>3</sup>. Por tanto, se confirma que las explotaciones mineras de la zona fueron en su tiempo importantes centros emisores de metano a la atmósfera. Faltaba comprobar si, una vez abandonadas, continúan siéndolo.

## 2.2 Área de Santa María de Redondo

Esta área presenta una estructura sinclinal de dirección SE-NO, en el que la Formación Barruelo ocupa el estrato más moderno. Se piensa que puede corresponderse con el Paquete Peñacorba del Área Barruelo, pero no se ha confirmado. La Formación Barruelo presenta 5 pasos de carbón de importancia, llamados A, B, C, D y E, de más antiguo a más moderno.

La explotación de estas capas se ha realizado tradicionalmente mediante minería de montaña, aprovechando la ganancia de cota que el terreno presenta hacia el NO. También ha habido explotación a cielo abierto, en especial en las cercanías del cierre Norte del sinclinal. La minería subterránea se ha centrado en el flanco Nororiental del sinclinal, con dos minas principales: La Mina Carbura, actualmente abandonada, situada en la parte Sur del flanco y que entraba en pozo plano a explotar las capas A y B y la Mina Montebismo, en actividad hasta el 2005 aunque había cambiado la localización original de la boca del pozo, que explotaba la capa A también mediante pozo plano.

No se dispone de datos históricos sobre emisiones de la Mina Carbura, aunque se podría suponer que por explotar la misma capa que la Mina Montebismo, el gas emitido debería ser similar al que se emitía en Montebismo. Según los datos aportados por UMINSA, el caudal de ventilación de la Mina Montebismo en sus últimas etapas de actividad era de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  y su contenido en metano era de un 0,3%, lo que implicaría una emisión diaria de  $2600 \text{ m}^3$ .

Por tanto, se hizo necesario averiguar los actuales niveles de emisión de la Mina Carbura y, además, precisar los datos de Montebismo aportados por la empresa propietaria de las concesiones.

## 2.3 Área Casavegas

La estructura del área Casavegas es la de un sinclinal de dirección Norte-Sur en la que se encuentran cuatro paquetes productivos, que son de más antiguo a más moderno, el Paquete Casavegas, Paquete Areños, Paquete el Cuenco y Paquete de la Minero Palentina.

Como norma general, el carbón de la cuenca ha sido explotado aguas arriba, mediante minería de montaña y, posteriormente, con minería a cielo abierto, con la excepción del Paquete Areños, en el que se encuentran algunas explotaciones subterráneas abandonadas, de las cuáles, las más importantes son Mina Eugenia, situada en el flanco occidental, y Mina Aurora, situada en el flanco oriental.

Ambas minas presentan un largo historial de accidentes debidos a los desprendimientos de grisú, lo que hace pensar que durante su época de explotación debieron ser importantes fuentes emisoras de metano. Especialmente, Mina Eugenia debió su cierre a los problemas derivados de las bolsas de grisú.

Al no disponer de datos numéricos de las emisiones, se pensó que sería necesario realizar medidas en campo que permitieran hacer las determinaciones necesarias para valorar las emisiones actuales.

## 2.4 Área San Cebrián o La Pernía

La Cuenca de San Cebrián se encuentra situada en el Noroeste de la provincia de Palencia dentro del dominio de la Pernía.

La Cuenca de la Pernía en general y la subárea de San Cebrián o Sinclinal de Castillería en particular, se encuadran geológicamente en el límite meridional de la Cordillera Cantábrica y dentro de la Región Estructural del Pisuerga- Carrión. Dicha cuenca de la Pernía es originada por la fase Palentina (infra Westfaliense B) y ampliada posteriormente por la Fase Leónica (Westfaliense D medio). La edad de las formaciones productivas es Westfaliense D medio - Estefaniense B superior. A finales del Cantabriense o Estefaniense C-D se produce una nueva fase de plegamiento, la Fase Astúrica, que pliega todos los materiales y cierra la sedimentación de la cuenca post-leónica. Acabada ésta, se instala en la zona de la Pernía una nueva cuenca sedimentaria de carácter estrictamente continental.

La Cuenca de la Pernía está constituida por tres sinclinales: uno meridional denominado Sinclinal de Castillería, otro noroccidental o Sinclinal de Casavegas y el nororiental que corresponde al de Redondo, representando el área de Barruelo su prolongación suroriental.

La Cuenca de San Cebrián comprende la zona situada en el área central y noroccidental de la hoja número 107 de Barruelo de Santullán del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50 000. El perímetro, con una superficie aproximada de 8800 Ha, queda definido principalmente por contactos mecánicos de los que cabe destacar la fractura de San Salvador de Cantamuda –Rabanal de los Caballeros, Mudá, la fractura de San Salvador de Cantamuda-Los Llazos (falla de Los Llazos) y contacto mecánico de Redondo.

Desde el punto de vista minero en el área de San Cebrián se establecen los siguientes Paquetes Mineros, de muro a techo:

### A) Paquete San Cebrián – Paquete de las Pernianas Inferiores

Este paquete perteneciente a la formación Vergaño tiene como sector más importante desde el punto de vista minero, el comprendido entre Vergaño y Mudá, donde se ubicaba el *pozo San Cebrián o Mina Entremedio*, presentando las capas de carbón una continuidad tanto en espesor como en extensión lateral. Consta de 4 ó 5 capas explotables dependiendo del sector y con espesores variables entre 50 cm y 1,20 m, con medias de 70 a 80 cm. La extensión lateral del paquete es superior a los 7 km y su tectonización en general muy baja, lo que evidentemente incidió en que este fuera el paquete minero más explotado a lo largo de la historia minera de la cuenca. Otros sectores con cierto interés se sitúan entre Mudá y la transversal de Herrerueta, manteniendo el paquete una relativa importancia decreciente en sentido Sur-Norte, con capas delgadas, continuas, con gran cantidad de pirita y de alto contenido en cenizas. Existe un decrecimiento del potencial minero de este paquete en sentido SE – NW (Área de las Pernianas Inferiores).

La estimación de recursos de carbón de este paquete desde el punto de vista teórico es de 147,047 Mt.

## B) Paquete de las Pernianas Superiores

Con una corrida subparalela a las anteriores y por tanto con situación geográfica idéntica en el flanco Norte de la sinforma de Castillería, se tiene un paquete que ha sido explotado en décadas anteriores aunque actualmente no es motivo de extracción de mineral.

El sector más importante y con mayor historia minera se ubica al Noroeste de Celada de Robledo donde hubo una serie de minas denominadas *Por si acaso, María Luisa, La Perniana, Nestar, Sofía, Celada, etc.*, si bien todas de escasa importancia. Se han reconocido cuatro capas con potencias muy variables oscilando entre 0,60-1,80 m y con abundantes tramos estériles. Los buzamientos son casi verticales.

La zona de mayor interés se sitúa, por tanto en el flanco oeste del anticlinal de Celada con un decrecimiento del potencial minero hacia el Norte y hacia el Este. El paquete pierde posibilidades en profundidad. Los recursos de carbón contenidos en este paquete se estiman en 32,5 Mt.

## C) Paquete San Cristóbal

El interés minero de este paquete que constituye los tramos inferiores de la formación Brañosa y que se encuentra en discordancia angular y erosiva sobre la formación Vergaño, queda restringido al sector suroriental de sus afloramientos, en el denominado Cerro San Cristóbal y sectores próximos, con capas de carbón con espesor próximo a los dos metros y alto poder calorífico. Las áreas situadas al este de la falla de Rabanal pueden excluirse de las áreas con interés desde el punto de vista de la investigación de carbón. El tonelaje teórico de carbón de este paquete es de 0,6 Mt.

## D) Paquete Verdeña – San Felices

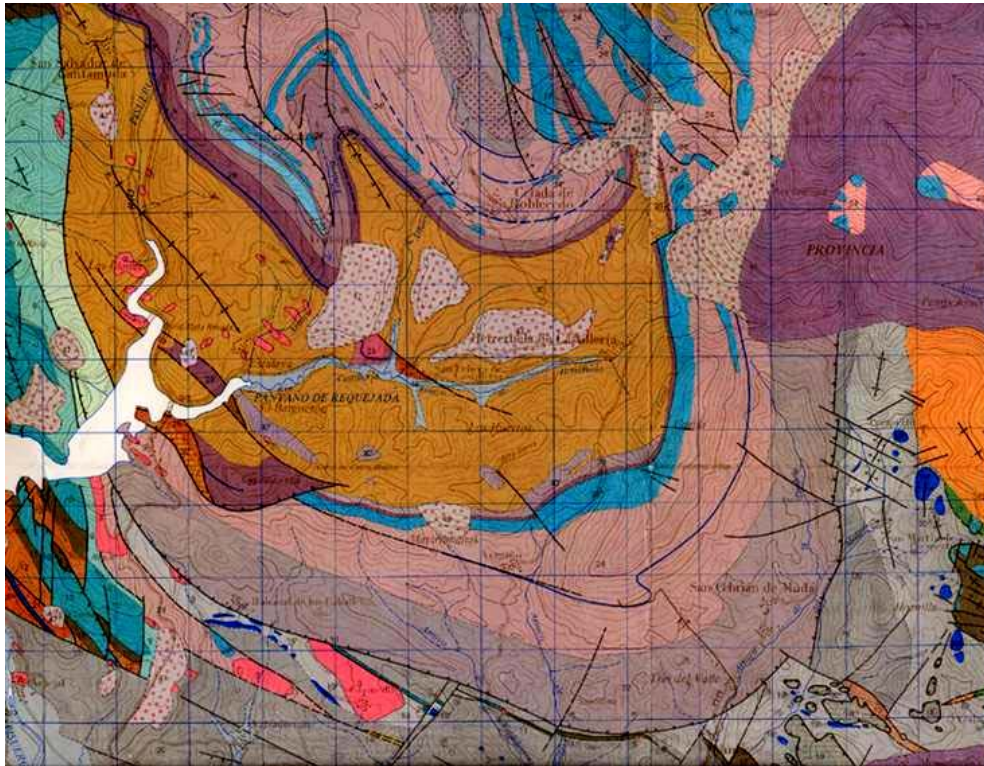
El área con interés minero está situada al Oeste del meridiano o accidente tectónico Verdeña – San Felices de Castillería coincidente con la falla de Verdeña y su prolongación hacia el Sur. La serie aumenta su potencial minero en sentido Sureste (San Felices) a Noroeste (Verdeña). Por tanto, a pesar de la fuerte tectonización del sector de San Felices, provocada por el accidente transversal de Estalaya, al norte de dicho accidente y bajo los recubrimientos del Terciario y del Cuaternario, el paquete mantiene unas condiciones interesantes desde el punto de vista minero hasta su afloramiento al Norte en el sector de Verdeña. En cambio, queda excluida como área de interés, la situada al Este del accidente tectónico de Verdeña – San Felices.

La franja situada al Este y Sur de San Salvador de Cantamuda fue trabajada por las *minas de San Francisco, Pedro, Pedrito* y las realizadas en la *concesión de Tonín* durante la década de los años 50 a 60. En el núcleo del sinclinal de Castillería se encontraban las *minas Florida y Mercedes* que explotaban cuatro capas de una hulla de excelente calidad. Los recursos teóricos de carbón se estiman en 24,37 Mt.

Los carbones de la cuenca pueden ser catalogados entre hullas secas antracitosas a hullas semigrasas. Presentan, en general, un alto contenido en cenizas, con una media aproximada del 36%, y un poder calorífico medio de 4300 kcal / kg. Destacan por su



gran calidad dos capas del Paquete Verdeña, y una del Paquete San Cristóbal, que rondan el 5% de cenizas y alcanzan un poder calorífico cercano a las 8000 kcal / kg.



*Figura 4: Cartografía de la Cuenca de San Cebrián. Hoja MAGNA n° 107*



*Figura 5: Escombrera en el cierre Este del sinclinal de Castillera*

### **3. FASE 2: REALIZACIÓN DEL INVENTARIO**

A través de la recopilación y estudio documental realizado, se procedió a la elaboración de la base de datos de explotaciones de las áreas de la cuenca de La Pernía – Barruelo. En la planificación del proyecto se había elaborado un modelo de ficha que, posteriormente y a la vista de los datos que se habían obtenido en el estudio, fue completada y perfeccionada.

Se incluyeron en la base de datos, referentes a 14 explotaciones de todas las áreas, aunque no fue posible en todas rellenar todos los campos. Las fichas elaboradas se completarán posteriormente según se vaya obteniendo información con los trabajos de campo. Se intentó que con la información contenida en la ficha se pueda responder a cualquier pregunta acerca de la exploración de emisiones de metano procedente de las minas de carbón. También se aportarán fotografías ilustrativas para que quede constancia del estado de las instalaciones.

La intención es continuar con la elaboración de estas fichas en todas aquellas cuencas que contengan explotaciones emisoras de metano a la atmósfera, para contar así con un archivo de nivel nacional. En cualquier caso, si en el futuro surgieran ideas sobre nuevos campos a incluir en las fichas, se completarían las fichas ya realizadas con los nuevos datos. Se trata, por tanto, de una base de datos dinámica, que pasará a formar parte de la base documental del IGME y podrá ser consultada por todos aquellos que necesiten información sobre las emisiones de metano a la atmósfera de la minería española del carbón.

A continuación se muestra una de las fichas realizadas para que sirva como referencia para el desarrollo de la base de datos, el resto de las realizadas se adjuntan en el anexo I. También mencionar que en el marco del Convenio con HUNOSA se pretende el continuar con esta labor, registrando las explotaciones propias de esta compañía.



<b>POZO CALERO</b>	
<b>Código:</b> GB/ PB/ BA/	<b>Coordenadas:</b> X = 393504 Y = 4752172 Z = 1144
<b>Planos:</b>	
<b>Mina:</b> Abandonada (2002)	Acceso: Pozo situado a 1,5 km al NO del pueblo de Barruelo
<b>Provincia:</b> Palencia	
<b>Formación</b>	Barruelo
<b>Paquete</b>	Calero
<b>Empresa explotadora</b>	Minas de Barruelo (1856-1966) Sociedad Hullera Vasco-Leonesa (1966-1972) Altos Hornos de Vizcaya S.A.(1972-1983) Hullas de Barruelo S.A. (19832002)
<b>Profundidad de labores (m)</b>	480
<b>Nivel piezométrico (m)</b>	Nivel 80 (80 m bajo la boca del pozo)
<b>Capas explotadas (profundidad)</b>	Capas I,II,III,IV,V,VI,VII,VIII (entre las cotas -80 y -130 m tomando como cota 0 el brocal del pozo)
<b>Rango del carbón</b>	Hulla Disminución del rango (aumento del contenido en volátiles) en la dirección SE del paquete
<b>Contenido medio en gas en capa estimado (m<sup>3</sup>/t)</b>	6,5 en la estimación más fiable, para las capas V y VI.
<b>Datos históricos de emisiones de metano</b>	Mina clasificada en 4ª categoría a causa de los desprendimientos instantáneos de grisú con una media de 6 DI y unos 12 muertos al año, reflejados en los libros de Actas de la Jefatura de Minas. 29,3 m <sup>3</sup> /t de carbón producida en 1969.
<b>Emisiones en estado actual de abandono</b>	Brocal del pozo: 0,10 l/s Ventilador Mercedes: 0,45% de metano en aire.
<b>Centros emisores de CO<sub>2</sub> próximos</b>	Centrales térmicas de Guardo y de Velilla del Río Carrión
<b>Salidas al exterior</b>	<b>Pozo Calero:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pozo de 4,5 m de diámetro</li> <li>- conserva su castillete, obra de cantería con una altura de 15 m</li> <li>- desde él estaban montadas además de la planta del nivel 80 otras 9 plantas desde la cota -130 hasta la -480</li> <li>- el retorno de la ventilación se efectuaba a través de la galería del nivel 130 que enlaza con una longitud de 2270 m con el pozo de ventilación situado muy próximo al pozo principal</li> </ul> <b>Nivel 80:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- galería que comunicaba la plaza principal de la mina (sita en la pza. del ferrocarril de Barruelo) con el pozo Calero, llegando a él a cota -80 y continuaba hacia el O hasta comunicar al exterior con el pozo Mercedes</li> </ul> <b>Pozo Mercedes:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- disponía de un ventilador para mantener la ventilación del nivel 80 independiente de la del resto de la mina</li> </ul>

#### 4. FASE 3: TRABAJOS DE CAMPO, BASES DE DATOS Y SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

##### 4.1 Trabajos de campo y bases de datos

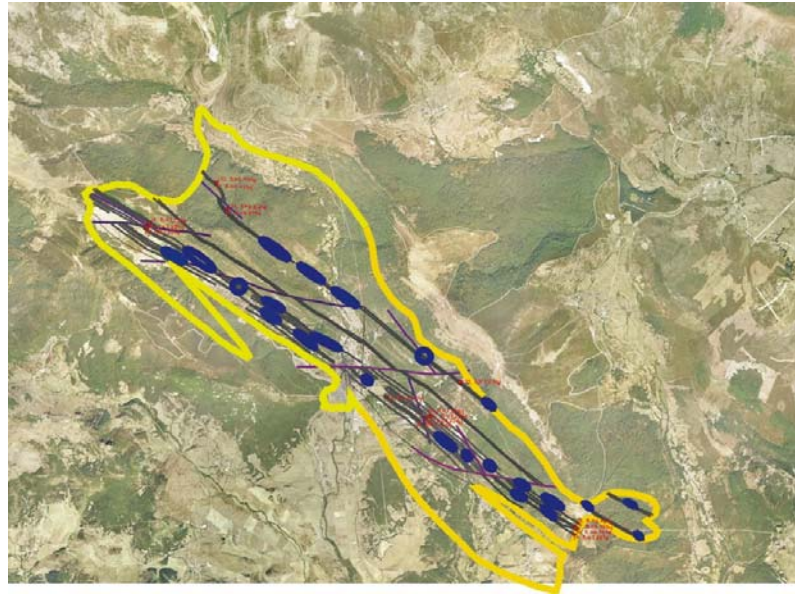
Se llevaron a cabo campañas de campo, para determinar los afloramientos más adecuados para la toma de muestras de los distintos paquetes mineros, que permitiese el desarrollo de las bases de datos necesarias para tener clasificados los carbones y de esta manera añadir en ellas los resultados de los trabajos de petrología aplicada realizados sobre estas muestras en el Instituto Nacional del Carbón, organismo perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Adquiriendo además por ello, la formación adecuada en este campo, dos Técnicos Superiores Especialistas del IGME.

Estos trabajos de campo se completaron con campañas de recogida de muestras de carbón en minas en activo, destacando las muestras obtenidas del Pozo Peragido y del Pozo Montebismo, que actualmente han sido cerradas siguiendo los planes de reestructuración marcados dentro de la minería del carbón de nuestro país.



*Figura 6: Recogida de muestras en escombrera y capa en afloramiento, limpiando el frente con una pala.*

Los trabajos de campo se completaron con trabajos de gabinete donde se intentaba correlacionar los resultados de los análisis de reflectancia de la vitrinita con los contenidos en gas de las distintos paquetes de carbón, obteniendo unos pre-resultados que permiten comprobar que el grado de maduración del carbón se puede correlacionar con su contenido en gas.

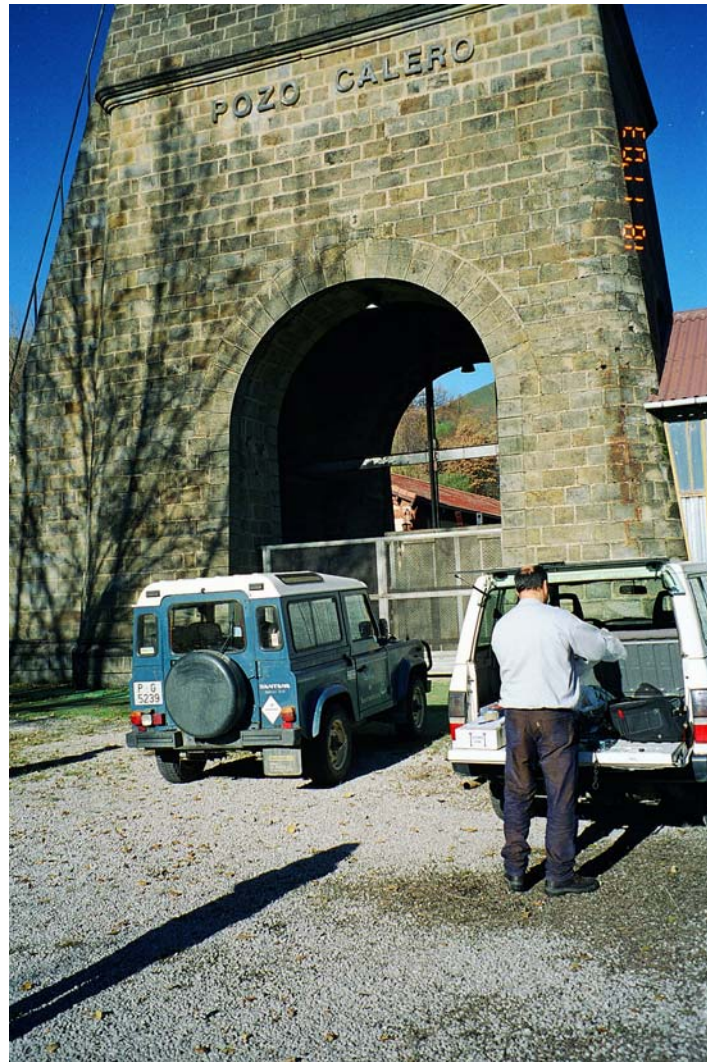


*Figura 7 : Cuenca de Barruelo. Situación de las muestras y correlación de datos.*

#### 4.2 Selección de emplazamientos

Para completar y confirmar la información compilada, se decidió llevar a cabo los trabajos de campo en dos etapas. La primera de ellas sería un trabajo de “desbaste” en el que se seleccionarían las explotaciones en las que existiera emisión real de metano a la atmósfera, eliminando aquellas en las que no hay tal emisión. Para ello, se utilizaría un **anemómetro y barómetro portátil**, que permitiera medir la velocidad de salida de gases de las minas y la presión atmosférica en el momento de la toma de medidas, **cinta métrica**, para determinar la sección de salida de la mina, y **grisuómetro**, para conocer el contenido en metano del gas de salida de la mina.



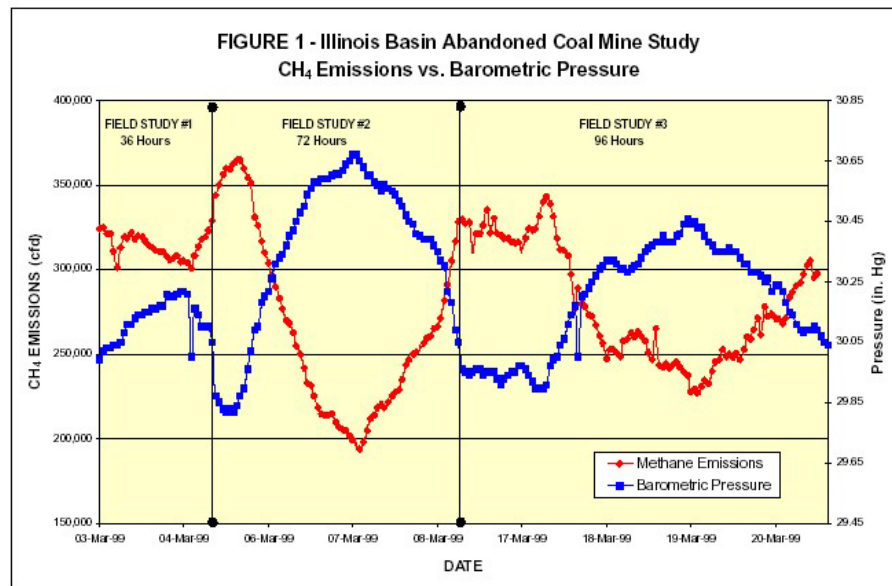


*Figura 8 : Toma de medidas en el Pozo Calero*



*Figura 9: Equipos utilizados en la toma de medidas*

Con la velocidad de salida de los gases y la sección de salida de la mina, se obtendría el caudal de gases que salen de la mina,  $Q = V \times S$ . Con el contenido en metano de estos gases se determina el metano emitido a la atmósfera. El dato de presión atmosférica es interesante conocerlo, ya que en momentos de presión alta, el gas, tiene más dificultad para salir al exterior que en momentos de baja presión. La idea es realizar varias medidas a distintas presiones, y luego aproximar una recta que relacione la presión con el caudal de metano emitido.



*Figura 10: Curva de relación entre la presión barométrica y las emisiones de metano de una mina abandonada en EEUU*

La segunda etapa, se desarrollaría solamente en las minas que hayan sido seleccionadas en la etapa anterior. Se trata de un aumento de la precisión de las medidas, en el que se utilizarán **anemómetro y grisómetro de precisión** y las medidas se realizarán en varios puntos dentro de la misma sección, ya que la salida del gas no es uniforme. Además, se captarían muestras del **gas en botellas**, en aquellas minas donde se permita llevar a cabo esta labor, de tal manera que luego pudieran ser analizadas en laboratorio. El procesado de estos datos complementará al desarrollado en la primera etapa.

Esta primera etapa se desarrolló siguiendo la división de la cuenca en las áreas que se han presentado en el fase . Los trabajos comenzaron en el área Barruelo, por contar con el mayor número de explotaciones subterráneas.

Se detectaron salidas de aire con pequeños contenidos en metano en el Pozo Calero, Pozo Rafael y Pozo Peragido antiguo, si bien las cantidades de metano apenas superaban el umbral de sensibilidad del aparato, por lo que su fiabilidad no era muy alta. El Pozo Peragido moderno, en actividad en el momento de las medidas, no ventilaba en esos instantes cantidades apreciables de metano a la atmósfera.



En la cuenca de Casavegas sólo se realizó una medida, debido a que todas las minas que figuran en la bibliografía con labores de interior, habían sido taponadas o completamente inundadas salvo una pequeña excepción. En el caso de las anteriormente reseñadas, Mina Eugenia y Mina Aurora, las bocaminas habían sido derrumbadas. La Mina Eugenia combinaba la explotación subterránea con la de superficie, y la restauración del cielo abierto cubrió por completo las entradas a la antigua explotación subterránea.

En el caso de Mina Aurora, la entrada principal a la mina se encontraba bloqueada por derrumbamiento, y tan sólo quedó abierto un pequeño pozo de extracción de mineral, donde se midió y se encontró una nula concentración de metano.

En el Sinclinal de Santa María de Redondo, se comprobó el estado de tres explotaciones: Mina Carbura, Pozo Montebismo antiguo y Pozo Montebismo moderno. En Mina Carbura, un pozo plano abandonado a finales de los 80, la entrada principal continua abierta, por lo que se llevó a cabo una medida. Al menos en las condiciones en que se realizó, no existía flujo de aire, ni hacia el exterior ni hacia el interior, por lo que se considera que a cierto nivel está inundada y funciona como un fondo de saco.



*Figura 11: Escombrera de la Mina Carbura*

El Pozo Montebismo antiguo se encuentra completamente taponado mediante losas de hormigón, por lo que no se realizaron medidas. En cuanto a Montebismo moderno, se comprobó que existía una salida de aire de mina a alta velocidad, con una dilución del



0,3 % en metano aproximadamente, tal y como nos había informado la empresa UMINSA.

Por último, el área San Cebrián, no aportó novedades de interés. La abundante minería de montaña se encuentra derrumbada en las bocaminas, dejando sólo como testigos de su existencia, las escombreras y las salidas de desagüe, que indican claramente una inundación de las labores. La Mina más importante del área, la Mina Entremedio, ha sido sellada con compuertas metálicas y además sale continuamente agua por la cuneta del pozo plano, lo cual indica que está inundado hasta la cota de superficie. Este agua, actuaría de “tapón” de los posibles gases que existieran en las galerías abandonadas, por tanto no se puede hablar de emisiones a la atmósfera.

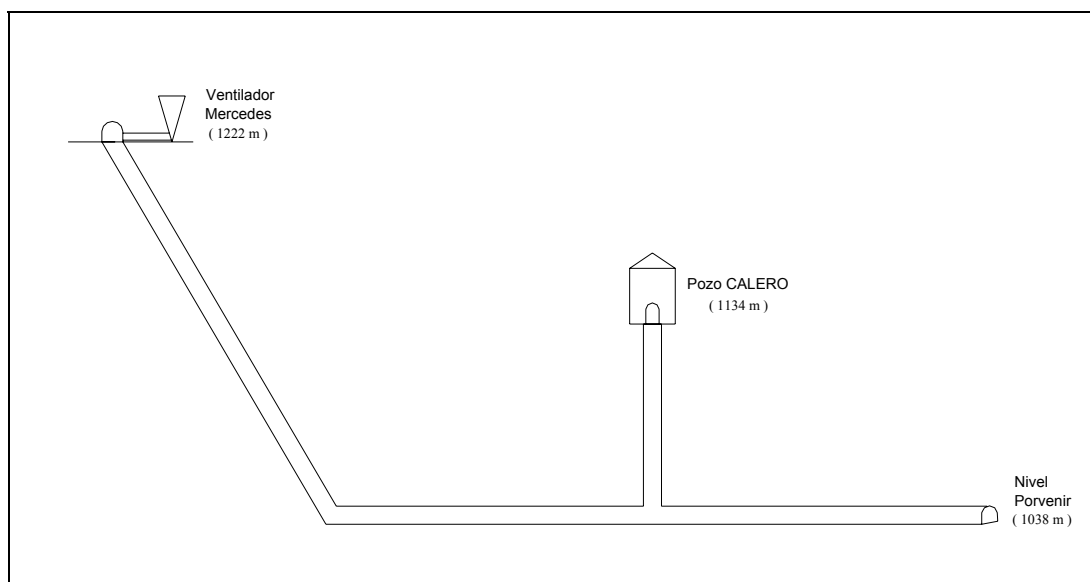
En el marco de la segunda etapa se llevó a cabo una toma de muestras de gas en mina, en el Pozo Peragido, en la localidad de Barruelo de Santullán, provincia de Palencia, mediante una metodología desarrollada en el grupo de trabajo y que se ha ido perfeccionando dentro del Convenio IGME-HUNOSA, consistente en hacer un pequeño sondeo de 3-4 metros en el frente de la capa, e introducir una cánula de cobre de aproximadamente 2 centímetros de diámetro, una vez sellada se dejó desorber unas 4-5 horas y posteriormente se volvió al lugar para recoger en botella,s mediante depresión con agua,el gas contenido en el carbón, llevándose este a análisis de contenido y composición. Los resultados fueron introducidos en la base de datos, que se adjunta en este informe como anexo II.



*Figura 12 : Toma de muestra de gas del Pozo Peragido*

## 5. FASE 4. INGENIERÍA BÁSICA

En esta etapa, se cotejan los datos obtenidos con los planos de labores mineras y los esquemas de explotación y ventilación estudiados, para posteriormente realizar la campaña de medidas de detalle. Esta etapa se lleva a cabo con la asistencia técnica de AITEMIN, autores del informe adjuntado aquí como Anexo III



**Figura 13:** Esquema de ventilación del Pozo Calero

Fuente: AITEMIN

La campaña se desarrolló tan sólo en los emplazamientos seleccionados durante la etapa anterior. El método consistió en primer lugar, en realizar medidas de velocidad de salida de aire en las bocaminas durante la mañana, determinando la velocidad media y el contenido en gas, mediante anemómetro y grisómetro de precisión. Además se coge una muestra en botella para su análisis en laboratorio.

En segundo lugar, durante la tarde se repetiría el proceso, siempre y cuando existiera caudal de aire en las bocaminas, y que éste fuera distinto al medido por la mañana, para así evaluar el efecto que la presión barométrica puede tener sobre la emisión de metano.

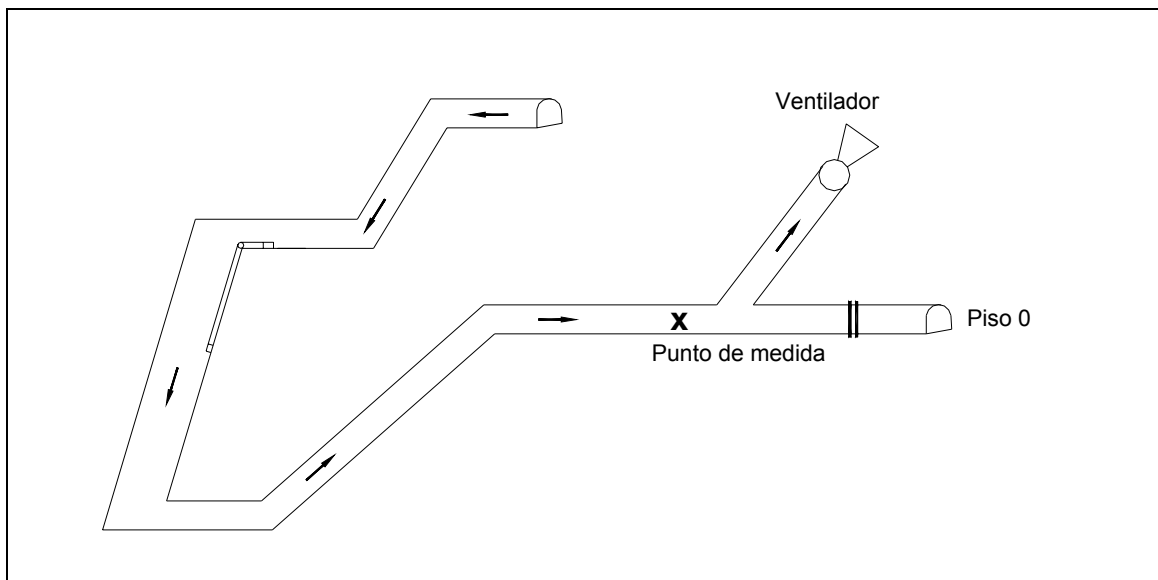
En el **Pozo Calero** se registra una emisión de CH<sub>4</sub> que, como término medio, durante los periodos controlados, se sitúa entorno a los **0,10 l/s** (0,36 m<sup>3</sup>/h). Esta medida, como ya se ha indicado en capítulos precedentes, se ha efectuado en la salida de los tubos de ventilación que conectan con los conductos de los ventiladores de exterior. Extendiendo esta emisión de forma continua en un período de 24 horas, se estima una emisión diaria a la atmósfera de 8,64 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/día.

En las labores de interior conectadas con el **Ventilador Mercedes** se detectan bajos niveles de O<sub>2</sub> (18,1 %) y unas concentraciones de CH<sub>4</sub> del 0,45 %. Estas labores que conectan con el Ventilador Mercedes es previsible que no estén barridas por el tiro de ventilación natural que entre por el Nivel Porvenir y que retorna por el Pozo Calero.

En la zona del **Pozo Peragido Viejo**, durante los periodos controlados, no existe un circuito bien definido respecto a la ventilación natural a la vez que no se detectan concentraciones de CH<sub>4</sub> apreciables.

En todas las muestras analizadas por cromatografía de gases se detectan concentraciones de CO<sub>2</sub> ligeramente superiores a la concentración esperable del aire limpio. Esto induce a pensar que fenómenos de putrefacción de la madera y oxidación del carbón puedan contribuir a la generación de CO<sub>2</sub> en las labores de interior. Respecto a las concentraciones de CO, solamente son detectables en pequeñas proporciones en algunas de las muestras analizadas. Las concentraciones de O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> tienen valores similares a las concentraciones existentes en muestras de aire ambiente.

Respecto a la emisión de CH<sub>4</sub> en **Antracitas de Montebismo**, se obtienen unos valores de emisión en el Retorno General de unos **25,6 l/s** (92,16 m<sup>3</sup>/h), durante el periodo productivo de la jornada.



**Figura 14** Esquema de ventilación del grupo Antracitas de Montebismo  
Fuente: AITEMIN

Añadir finalmente, que si se observan diferencias en las medidas efectuadas durante la mañana y durante la tarde, se debe al efecto que la presión barométrica ejerce en las emisiones de metano de las labores de carbón abandonadas. Por ello, es aconsejable en futuras campañas, incrementar el periodo de tiempo hasta 72 h en el que se realizarán las mediciones.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda extender estos trabajos al resto de las Cuencas Carboníferas de la Península. Actualmente se avanza en este camino dentro del ya mencionado Convenio con HUNOSA, donde se han planteado alguno de los trabajos aquí descritos, para las zonas concretas donde opera esta empresa extractiva.

Los resultados obtenidos son interesantes por dos aspectos, por un lado por el tema de aprovechamiento de metano para su uso energético, que enlaza con dos de las apuestas europeas en cuanto a caminos futuros a considerar en el ámbito de la energía, como son el ahorro energético y la eficiencia energética y por otro lado por la opción de mitigación del cambio climático, al ser el metano uno de los gases de mayor potencial para el efecto invernadero, (21 veces superior al CO<sub>2</sub>) y evitando por lo tanto su emisión a la atmósfera.

Del mismo modo con la continuidad de las labores se podría avanzar en el campo del Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub>, al ser el carbón una opción de almacenamiento a estudiar e investigar dentro de la línea estratégica del Instituto Geológico y Minero: Geología del Subsuelo y Almacenamiento Geológico de CO

Se debería continuar estas fases de trabajo planteadas en este proyecto, mediante la realización de un registro continuo que completase las labores de análisis de emisiones en la minería activa, y otro registro continuo en alguna de las salidas al exterior de minas que ya han sido abandonadas, sobre todo en las que lo han sido en tiempos recientes, obteniendo de esta forma resultados más concretos que permitiesen los estudios de viabilidad económica de esta técnica.

Se insiste en que las bases de datos obtenidas durante este proyecto deben de ir completándose con más trabajos e información procedente de otras cuencas, e igualmente se debería completar datos que aún no se tienen en las fichas de explotaciones mineras, así como ir generando nuevas y poder de esta forma ofrecer la más completa información a aquellos agentes del engranaje ciencia-tecnología-empresa que estén interesados en ello.