



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VIGILANCIA Y MAPEO TECNOLÓGICO EN  
DESARROLLO DE CAMPOS DE GAS EN MINAS DE  
CARBÓN Y GAS ASOCIADO A MANTOS DE  
CARBÓN**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Petrolero**

**P R E S E N T A N**

Edson Manuel Hernández Rendón

Manuel Viguera Perucho

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Gaspar Franco Hernández



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Agradecimientos de Edson y Manuel:*

*Con especial agradecimiento para el Ingeniero Alfonso Reyes Pimentel y al Ingeniero Gaspar Franco Hernández por haber aceptado ser nuestro director de tesis, por orientarnos desde el inicio a desarrollar este tema, porque sin su guía, reconocemos humildemente, este trabajo no se hubiese podido lograr. Toda nuestra gratitud por su infinita paciencia y profesionalidad. Su labor quedará grabada para siempre en nuestra memoria. Nuestro más sincero reconocimiento por su esfuerzo y dedicación, contarán con nuestra gratitud eterna.*

*A nuestro honorable jurado, queremos decirle que nos llena de orgullo poder pasar este proceso bajo su supervisión; sus comentarios siempre oportunos al igual que sus instrucciones, nutrieron el trabajo, así como nuestros conocimientos. Nuestro más sincero reconocimiento y gratitud para:*

*Ing. Israel Castro Hernández*

*Ing. Gaspar Franco Hernández*

*Ing. Erick Gallardo Ferrera*

*Ing. Beatriz Sayuri Katagiri Buentello*

*Ing. Marlene Reyes Castillo*

*A la Comisión Nacional de Hidrocarburos por el apoyo brindado y a la Ing. Lucero Hernández Rodríguez, con respeto y admiración, por todas sus opiniones y consejos; por tomarnos en cuenta siempre en las actividades que nutrían nuestros conocimientos en el tema.*

*¡Muchas Gracias!*

*Dedicatorias Edson:*

*La culminación de este proceso es sin duda debido a mis padres Alicia Rendón y Ángel Sánchez, que sin su apoyo y paciencia; nunca perdieron la fe en mí, aun cuando yo de momentos sentía no acabar. Los valores y principios que ellos me inculcaron me hacen el hombre que soy. Sin duda este trabajo se lo dedico a todos esos momentos que hubo pan sobre mi mesa, que tuve un techo donde llegar, que tuve ropa que vestir y que siempre me animaban a seguir adelante, para esos momentos en que trabajando siempre vieron por nosotros. Este trabajo es por todo el amor y cuidado que he recibido desde el día que nací, para esas lecciones aprendidas de ustedes. Este trabajo está dedicado con mucho amor a ustedes.*

*A mi hermano Ángel, que siempre seremos amigos, con amor este trabajo es para ti.  
A mi Abuelo Pedro y mi abuela Eulalia que nunca se cansaron por velar mi bienestar, les dedico este trabajo.*

*A mis primos y tíos, de donde cada día aprendo lo que es ser parte de una familia, este trabajo también es de ustedes.*

*A Montse que me enseña cada día a no darme por vencido, y que durante este tiempo a tu lado aprendo la palabra amor, sin duda este trabajo es por lo que somos y por lo que soñamos ser. Te lo dedico amor.*

*A mis amigos de la facultad: Wladimir y Manuel, los hermanos que uno elige; a mis amigos del equipo de americano de veterinaria: Carneros, donde uno aprende a no tener miedo no importa lo que tengamos en frente, siempre hay que hacer lo que tenemos que hacer, les dedico este trabajo.*

*A mis Maestros y mis Coaches, que me exigieron sabiendo de lo que puedo llegar hacer, les dedico mi trabajo.*

*Finalmente, le dedico mi tesis a la UNAM, a mi legendaria Facultad de Ingeniería y a la carrera de ingeniería petrolera, que me ha permitido tener los conocimientos que son mis credenciales en mi vida profesional, a estas instituciones siempre les estaré agradecido porque gracias a ella tengo la posibilidad de poner pan sobre una mesa y de aportar a mi sociedad; ser partícipe de la industria petrolera es lo mejor que me ha pasado, y si escrito estaba que yo sería petrolero, seguro estoy que hasta mi último suspiro moriré siendo petrolero. A estas instituciones les dedico mi trabajo.*

*Agradecimientos y dedicatorias de Manuel:*

*A mi Madre...*

*Mamá, la palabra "gracias" no es suficiente para agradecer todo el amor, el sacrificio y el esfuerzo que desde siempre has dado por mí. Eres sin duda la persona que más admiro y amo. Gracias Mamá por tu amor, paciencia, apoyo y comprensión, por ser mi ejemplo y mi más grande inspiración. Este logro es por ti y para ti mamá, ¡que dios te bendiga siempre!*

*A Dios a mi Virgen de Guadalupe:*

*Porque me han iluminado y guiado en esta etapa de mi vida, porque sin ustedes no hubiera podido salir adelante en los momentos difíciles, con fe y a su lado todo es posible, Gracias.*

*A mis Hermanos:*

*Soy muy privilegiado porque tengo el orgullo de tener amigos como ustedes, que más que amigos, son los hermanos que nunca tuve, pero siempre quise y elegí. Quiero darles las gracias a Cesar, Diego, Eder Uriel, Heriberto, Jesús Uriel, Jorge, Juan, Mario y Rafael por su infinito y total apoyo, por creer en mí y por siempre darme ánimos, con cariño y respeto también les doy las gracias a sus familias.*

*Edson y Wladimir; les agradezco queridos amigos por las horas compartidas "quemándonos las pestañas" estudiando para el próximo examen o la siguiente exposición. Edson fuiste un apoyo y sé que nos hemos ayudado mutuamente pero soy consciente de que sin tu compañía me hubiera sido más difícil concluir este reto. Hoy nos graduamos juntos y quiero decirte: gracias.*

*A mi familia:*

*Muchas gracias a todos mis tíos, tías, primos y primas que son y seguirán siendo una fuente de inspiración, por estar conmigo en las buenas y en las malas.*

*A mí querida Universidad.*

*Expreso también mi gratitud a la Universidad Nacional Autónoma de México y a su facultad de Ingeniería, mi alma mater, gracias por haberme permitido formarme en tus aulas, gracias a mis profesores y compañeros que fueron partícipes de este proceso.*

## ÍNDICE.

<b>PLANTEAMIENTOS Y OBJETIVOS</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>1. Aspectos Geológicos del Carbón</b> .....	13
1.1. Formación del Carbón.....	13
1.2. Propiedades Físicas y Químicas del Carbón.....	17
1.2.1. Grado de Carbonización.....	17
1.2.2. Rango del Carbón.....	17
1.2.2.1 Gas Biogénico.....	18
1.2.2.2 Gas Termogénico.....	19
1.2.3 Tipo de Carbón.....	20
1.2.3.1 Macerales.....	20
1.3. Geología del Carbón.....	21
1.4. Marco Tectónico y Estructural.....	22
1.5. Marco Estratigráfico y Ambiente de Depósito.....	22
1.6. Permeabilidad.....	23
1.7. Hidrogeología.....	24
1.8. Origen del Metano en el Carbón.....	25
1.9. Composición del Gas Metano Asociado a Mantos de Carbón.....	26
<b>2. Desarrollo Minero de Carbón y Gas en las Minas de Carbón (GMC)</b> .....	28
2.1. Importancia del Control de Gas.....	28
2.1. Desarrollo Minero.....	28
2.1.1. Prospección.....	28
2.1.2. Exploración.....	30
2.1.3. Extracción.....	32
2.1.4. Desarrollo.....	38
2.2. Uso del Metano.....	46
2.2.1. Quema.....	47
2.2.2. Generación de Energía.....	48
2.3. Recuperación de Zonas.....	49
<b>3. Desarrollo de Campos de Gas Asociado a Mantos de Carbón (GAMC)</b> .....	51
3.1. Qué es el GAMC?.....	51
3.2. Exploración.....	52
3.2.1. Construcción de Pozos.....	52
3.3. Extracción.....	52
3.3.1. Perforación y Terminación de Pozos.....	52
3.3.2. Perforación De Pozos de GAMC.....	54
3.3.2.1. Pozos Verticales.....	54
3.3.2.2. Pozos Horizontales.....	55
3.3.2.3. Pozos Multilaterales.....	59
3.3.2.4. Pozos Espina de Pescado (Pinnate Wells).....	60
3.4. Cementación.....	62

3.5. Terminación de Pozos de GAMC.....	63
3.6. Fracturamiento Hidráulico.....	66
3.7. Agua Producida en GAMC.....	71
3.7.1. Volúmenes y Composiciones del Agua de GAMC .....	73
3.7.2. Estudios del USGS de Agua Producida en GAMC .....	74
3.7.3. Destino del Agua de GAMC.....	74
3.8. Manejo del Agua.....	75
3.8.1. Uso Benéfico.....	75
3.8.2. Control de Polvo.....	75
3.8.3. Irrigación.....	76
3.8.4. Abrevaderos para ganado.....	77
3.8.5. Uso Industrial.....	77
3.8.6. Presas.....	78
3.8.7. Uso del Agua por los dueños de las tierras.....	79
3.8.8. Uso de Agua Potable.....	80
3.8.9. Almacenamiento y Recuperación de Acuíferos.....	80
3.8.10. Recarga de Acuíferos.....	81
3.8.11. Tratamiento.....	82
3.8.12. Eliminación de Agua .....	83
3.9. Impactos Ambientales.....	83
<b>4. Metodología: Vigilancia Tecnológica Y Mapa Tecnológico.....</b>	<b>84</b>
4.1. Vigilancia Tecnológica.....	84
4.1.1. Aplicación.....	84
4.1.2. Utilidad.....	85
4.1.3. Procedimiento.....	85
4.1.4. Tipos de Vigilancia.....	86
4.1.5. Ciclo de la Vigilancia Tecnológica.....	88
4.1.6. Fuentes principales de información para desarrollar una adecuada Vigilancia Tecnológica.....	90
4.2. Mapas Tecnológicos.....	91
4.2.1. Conceptualización y características de los Mapas Tecnológicos.....	92
4.2.2. Definición de Mapa Tecnológico.....	94
4.2.3. Metodología.....	95
4.2.4. Conceptos que conforman un Mapa Tecnológico.....	95
4.2.5. Proceso de realización de un Mapa Tecnológico.....	96
4.3. Bibliometría.....	96
4.3.1. Leyes de la Bibliometría.....	97
4.4. Tratamiento de la información obtenida.....	97
4.5. Construcción de Mapa Tecnológico.....	101
<b>5. Vigilancia Tecnológica de GMC.....</b>	<b>104</b>
5.1. Tecnología de Quemadores.....	104
5.2. Tecnología de Perforación.....	109
5.3. Tecnología de Cogeneración de Energía.....	120
5.4. Tecnología de Ventilación.....	127
5.5. Tecnología de Exploración.....	130

<b>6. Vigilancia Tecnológica de GAMC</b> .....	139
6.1. Tecnología en Pruebas de Pozo.....	139
6.2. Tecnología en Simuladores.....	140
6.3. Tecnología en Tratamiento de Agua.....	140
6.4. Tecnología en Compresores y Bombas.....	141
6.5. Tecnología en Cementación.....	146
6.6. Tecnología en Perforación.....	146
6.7. Tecnología para el Aumento de la Permeabilidad.....	155
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	158
<b>Anexo 1: BASE DE DATOS</b> .....	160
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	170

## Índice de Figuras:

### Capítulo 1:

**Figura 1:** Ambientes de depósito para la formación del carbón. (Fuente: El gas asociado a los yacimientos de carbón mineral, 2010).

**Figura 2:** Generación de metano (1,300 m<sup>3</sup> por tonelada de materia orgánica desde la turba), con otros gases durante la maduración del carbón. (Fuente: Oilfield Review invierno2003/2004. Schlumberger, “Yacimientos de metano en mantos de carbón”).

**Figura 3:** Procesos de formación para los diferentes tipos de carbón. (Fuente: El Gas Asociado a los Yacimientos de Carbón Mineral, 2010)

**Figura 4:** Evolución del carbón y generación de gas metano. Fuente: Modificado de estudio de Gas Asociado al Carbón Mexicano. Martínez L, 2008, Universidad de Nancy Francia

**Figura 5:** Rango del Carbón con respecto a sus principales parámetros. Fuente: The trace elements in Coal. Vol. 1

### Capítulo 2:

**Figura 6:** Ejemplo de realización de un estudio sísmico (*Imagen tomada cepsa.com*)

**Figura 7:** Ejemplo de proceso fundamental del método gravimétrico (*Imagen tomada de Métodos Geofísicos, Capítulo 3 Método Gravimétrico*)

**Figura 8:** Principio de un estudio de magnetometría (*Apuntes de Geología General, capítulo 4: Magnetometría*)

**Figura 9.** Respuesta del carbón a los diferentes tipos de registro (Modificada de Firth D., 1994)

**Figura 10:** Proceso de Medición de Gas (Basado en Diamond & Schatzel)

**Figura 11:** Ilustración de un proceso minero a cielo abierto (Modificado de Coal Resource Overview of Coal report, 2009)

**Figura 12:** Cantera (Foto).

**Figura 13:** Corta en mina (Foto)

**Figura 14:** Mina descubierta (Foto).

**Figura 15:** Método Cuartos y Pilares (Tomada de Coal Mining Methods, EMFI)

**Figura 16:** Método de Frente Larga Tomada de Coal Mining Methods, EMFI)

**Figura 17:** Portales (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

**Figura 18:** Comparativo operacional de Portales (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

**Figura 19:** Instalaciones subterráneas de uso y recolección de gas (*Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010*)

**Figura 20:** Ejemplo de un muro tipo stopings (Foto)

**Figura 21:** Overcasts (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

**Figura 22:** Regulador de puerta corrediza en una mina

**Figura 23:** Sistema de distribución de aire dentro de una mina. (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

**Figura 24:** Esquema de un ventilador principal de superficie (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

**Figura 25.** Ventilador de una mina de Carbón (Foto)

**Figura 26:** Anemómetros de paletas portátil (Catalogo TPM Equipos)

**Figura 27:** Esquema de Pre-Drenaje (Noack, 1988)

**Figura 28:** Esquema de Pos-Drenaje (*Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010*).

**Figura 29:** Pozos Gob (*Imagen tomada de video demostrativo*)

**Figura 30:** Tubos de plástico reforzado con vidrio (Derecha) y tubos de polietileno (Izquierda) (Foto)

**Figura 31:** Esquema de las instalaciones para uso de gas (Gas de Metano: Oportunidades de Recuperación y Utilización, GMI)

**Figura 32:** Ejemplo de reforestación sobre un camino generado por la industria minera

### Capítulo 3:

**Figura 33.** Esquema de un pozo típico CBM de una perforación vertical.

**Figura 34.** Tipos de perforación horizontal.

**Figura 35.** Perforación de Pozos Horizontales en Mantos de Carbón Fuente: Target Drilling “Precision Drilling for Your Success” (2014) Recuperado de:

<http://www.targetdrilling.com/surface-cbm.html>

**Figura 36.** Pozos multilaterales. Fuente: Target Drilling “Precision Drilling for Your Success” (2014)

**Figura 37.** Single Pinnate (Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

**Figura 38.** Quad Pinnate. (Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

**Figura 39.** Comparación de la Producción de un Pozo Vertical y un Pozo Pinnate en la Cuenca Central de los Apalaches

**Figura 40.** Fibras CemNET. Fuente: Oilfield Review invierno2003/2004. Schlumberger, “Yacimientos de metano en mantos de carbón”.

**Figura 41.** Terminación en agujero descubierto.

**Figura 42.** Esquema de una terminación revestida.

**Figura 43:** ilustración simplificada de un pozo de producción en GAMC. FUENTE: Adaptado de Rice y Nuccio (2000).

**Figura 44:** Toma de muestra de agua a boca de pozo de GAMC (Foto).

**Figura 45.** Riego por aspersión con agua producida con GAMC (Foto).

**Figura 46.** Tanque de almacenamiento común reciclado de neumáticos (Foto).

**Figura 47.** Foto de una presa contruida para diferentes usos (Foto).

**Figura 48.** Estanque de pesca lleno a agua producida por GAMC, PRB Wyoming (Foto).

**Figura 49.** Esquema de un acuífero de almacenamiento y recuperación.

**Figura 50.** Imagen de la recarga de un acuífero con aguas producidas de GAMC.

### Capítulo 4:

**Figura 51:** Esquema de Vigilancia Tecnológica.

**Figura 52:** Objetivos de los Mapas Tecnológicos

**Figura 53:** Distribución de referencias por país (Elaboración Propia).

**Figura 54:** Distribución de referencias por año de publicación (Elaboración Propia).

**Figura 55:** Distribución de referencias por Clasificación (Elaboración Propia).

**Figura 56:** Distribución de referencias por Tipo de Publicación (Elaboración Propia).

**Figura 57:** MAPA TECNOLÓGICO DE GMC (Elaboración Propia).

**Figura 58:** MAPA TECNOLÓGICO DE GAMC (Elaboración Propia).

### Capítulo 5:

**Figura 59:** Quemadores tipo ATEX Y Nec (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

**Figura 60:** Quemadores tipo JBM (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

**Figura 61:** Quemadores tipo JBM-HP (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

**Figura 62:** Quemadores tipo JBD (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

**Figura 63:** Quemadores serie D

- Figura 64:** Quemadores tipo XL
- Figura 65:** Perforadora Simba 1254 (Foto de Atlas Copco Mexicana SA de CV)
- Figura 66:** Perforadora Simba 1354 (Foto de Atlas Copco Mexicana SA de CV)
- Figura 67:** Perforadora Simba E7 C-IHT (Foto: Atlas Copco Mexicana SA de CV)
- Figura 68:** Perforadora 500k (Foto: <http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico>)
- Figura 69:** Perforadora 200k (Foto: <http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico>)
- Figura 70:** Perforadora CMM2 (Foto: <http://www.joyglobal.com/es/contactforms/cont%C3%A1ctenos>)
- Figura 71:** Perforadora SR360 (Foto: <http://www.joyglobal.com/es/contactforms/cont%C3%A1ctenos>)
- Figura 72:** Perforadora Hazemag EH (Fuente: <http://www.hazemag.com/>)
- Figura 73:** Perforadora CPB 1800 (Fuente: [ventas@compresoresmaquinaria.com](mailto:ventas@compresoresmaquinaria.com))
- Figura 74:** Perforadora CPB 2600 (Fuente: [ventas@compresoresmaquinaria.com](mailto:ventas@compresoresmaquinaria.com))
- Figura 75:** Perforadora FS 600 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)
- Figura 76:** Perforadora FS 500 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)
- Figura 77:** Perforadora FS 400 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)
- Figura 78:** Perforadora FS MULTIDRILL XL 140 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)
- Figura 79:** FS MULTIDRILL XL 170 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)
- Figura 80:** Generador Madisa CAT (Fuente: <http://www.cat.com/>)
- Figura 81:** TGC 2016 (Fuente: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/>)
- Figura 82:** TGC 2020 (Fuente: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/>)
- Figura 83:** TGC 2032 (Fuente: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/>)
- Figura 84:** Generador General Electric (Fuente: [http://chp.gepower.com/mx/es/contact\\_us/](http://chp.gepower.com/mx/es/contact_us/))
- Figura 85:** Mitsubishi (Fuente: <http://www.igsapower.com.mx/images/upload/paginaweb/archivo/5/plantas-ficha-mitsubishi.pdf>)
- Figura 86:** Generador MTU (Fuente: <http://www.mtuonline.com/iberica/company/index.es.html?r=FBsjYxp>)
- Figura 87:** Generador SGT-100 (Fuente: <http://www.energt.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)
- Figura 88:** Generador SGT-200 (Fuente: <http://www.energt.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)
- Figura 89:** Generador SGT-500 (Fuente: <http://www.energt.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)
- Figura 90:** Generador SGT-600 (Fuente: <http://www.energt.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)
- Figura 91:** Ducto de Ventilador Minería Polaca (Fuente: <http://www.minerapolaca.com/contacto.html>)
- Figura 92:** Ducto de Ventilador Minería Polaca (Fuente: <http://www.minerapolaca.com/contacto.html>)
- Figura 93:** Ventilador Serpent (Fuente: <http://www.atlascopco.cl/cles/products/sistemas-de-ventilaci%C3%B3n-subterr%C3%A1neos/3506182/3506569/>)
- Figura 94:** Ventilador Ziebttec (Fuente: <http://www.ziebttec.cl/contacto.php>)
- Figura 95:** Ventilador Chaccourt (Fuente: <http://chaccourtminingco.com/Contacto.aspx>)
- Figura 96:** Logo del Software (Fuente: <http://www.ventsim.com/es/contacto/>)
- Figura 97:** Equipo Geode (Fuente: <http://www.geoelec.com.mx/contacto.htm>)
- Figura 98:** Equipo Geode DZ (Fuente: <http://www.geoelec.com.mx/contacto.html>)
- Figura 99:** Equipo ES 300 (Fuente: <http://www.geoelec.com.mx/contacto.html>)
- Figura 100:** Equipo ESS 500 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)
- Figura 101:** Equipo ESS 200 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)
- Figura 102:** Minivib Shearwave (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)
- Figura 103:** CG-5 AutoGrav Gravímetro (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)
- Figura 104:** TAGS-6 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

**Figura 105:** A-10 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

**Figura 106:** GSM-19 (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

**Figura 107:** GEM-19T (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

**Figura 108:** GSMP-35 (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

**Figura 109:** Magnetómetro AeroTransportado (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

## Capítulo 6

**Figura 110:** Sarta de la herramienta DST (Fuente: Halliburton CBM: Principles and Practices, 2007).

**Figura 111:** Esquema de una Prueba Slug (Fuente: Halliburton CBM: Principles and Practices, 2008).

**Figura 112:** Logotipo Simulador GEM

**Figura 113:** Logotipo Simulador Eclipse

**Figura 114:** REDA HPS sistema de bombeo de superficie horizontal multietapa. (Fuente: Schlumberger)

**Figura 115:** *Servicio de inspección en tiempo real LiftWatcher.* (Fuente: Schlumberger)

**Figura 116:** *Sistemas ESP de alta eficiencia.* (Fuente: Schlumberger)

**Figura 117:** Variadores de velocidad (VSD) (Fuente: Schlumberger)

**Figura 118:** Bomba PCM Moineau™ HR (Fuente: <http://www.pcm.eu/es/petroleo-y-gas/aplicaciones/extraccion-artificial-aplicaciones/extraccion-de-agua-del-metano-de-carbon>)

**Figura 119:** compresor Copeland Scroll (Fuente: [http://www.emersonclimate.com/es-LA/Market\\_Solutions/Industrial/Hydrocarbon\\_Processing/applications/Pages/coal\\_bed\\_methane.aspx](http://www.emersonclimate.com/es-LA/Market_Solutions/Industrial/Hydrocarbon_Processing/applications/Pages/coal_bed_methane.aspx))

**Figura 120:** Equipo de Perforación RPS3000 (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

**Figura 121:** Equipo de Perforación RPS3200. (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

**Figura 122:** Equipo de Perforación SPS2600. (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

**Figura 123:** Equipo Perforación De Pozos SPS2000. (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

**Figura 124:** Plataforma de perforación hidráulica direccional de CBM/plataforma de perforación de la explotación minera, alto rendimiento. (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

**Figura 125:** Rotatorio-perforación de TDR -50 con la plataforma de perforación universal de CBM de circulación reversa. (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

**Figura 126:** Plataforma de perforación montada en remolque (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

**Figura 127:** Plataforma de perforación rotatoria (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

**Figura 128:** Plataforma de perforación direccional horizontal 44T con el motor diesel de WEICHAISTEYR. (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

### Índice de Tablas:

#### Capítulo 1:

**Tabla 1.** Características de los carbones en base a su rango de maduración. (Fuente: El Gas Asociado a los Yacimientos de Carbón Mineral, 2010)

#### Capítulo 2:

**Tabla 2.** Ciclo de vida de un proceso minero (Fuente: INTRODUCTION TO MINNING, CAPITULO 1)

**Tabla 3.** Porcentaje de mezclado del metano contra el oxígeno (*Moreby, 2009*)

**Tabla 4.** Número y tipo de proyectos (Coalbed Methane: Best Practices for British Columbia, 2009)

**Tabla 5.** Usos más comunes del metano en la industria minera

**Tabla 6.** Usos del Metano (Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, 2014)

**Tabla 7.** Actividades correspondientes a recuperación de zona

#### Capítulo 3:

**Tabla 8.** Composición típica del GAMC. Fuente: SPE International, coalbed methane (CBM), MFG Oil & Gas S.A. Buenos Aires 28 de junio de 2008).

**Tabla 9.** Clasificación de los Pozos Horizontales y Especificaciones de Pozo

**Tabla 10.** Fluidos de fracturación según su base y sus condiciones de uso. (Fuente: Understanding Key Reservoir Properties and their influence on Producibility (Michael Dawson, President, Dawson Energy Advisors Ltd.), Noviembre 2013).

**Tabla 11.** Opciones de estimulación de mantos de carbón utilizando fracturamiento hidráulico (Fuente: Understanding Key Reservoir Properties and their influence on Producibility (Michael Dawson, President, Dawson Energy Advisors Ltd.), Noviembre 2013).

**Tabla 12.** Producción de agua en algunas de las principales cuencas productoras de CBM en E.U.A

#### Capítulo 4:

**Tabla 13:** Proceso de análisis de contenido.

#### Capítulo 5:

**Tabla 14:** Características de modelo tipo ATEX y Nec

**Tabla 15:** Características de modelo tipo JBM

**Tabla 16:** Características de modelo tipo JBM-HP

**Tabla 17:** Características de modelo tipo JBD

**Tabla 18:** Características de modelo Serie D

**Tabla 19:** Características modelo XL

**Tabla 20:** Características modelo Simba 1254

**Tabla 21:** Características modelo Simba 1354

**Tabla 22:** Características modelo Simba E7 C-IHT

**Tabla 23:** Características modelo Simba 500k

**Tabla 24:** Características modelo Simba 200k

**Tabla 25:** Características modelo Simba CMM 2

**Tabla 26:** Características modelo Simba SR 360

**Tabla 27:** Características modelo Hazemag EH

**Tabla 28:** Características modelo CPB 1800

**Tabla 29:** Características modelo CPB 2600

**Tabla 30:** Características modelo FS 600

- Tabla 31:** Características modelo FS 500
- Tabla 32:** Características modelo FS 400
- Tabla 33:** Características modelo FS MULTIDRILL XL 140
- Tabla 34:** Características modelo FS MULTIDRILL XL 170
- Tabla 35:** Características modelo Generador Madisa CAT (Fuente: <http://www.cat.com/>)
- Tabla 36:** Características modelo TGC 2106
- Tabla 37:** Características modelo TGC 2020
- Tabla 38:** Características modelo TGC 2032
- Tabla 39:** Características modelo General Electric
- Tabla 40:** Características modelo GS-(600 A 2000)
- Tabla 41:** Características modelo GS-(750 a 3220)
- Tabla 42:** Características modelo SGT-100
- Tabla 43:** Características modelo SGT-200
- Tabla 44:** Características modelo SGT-500
- Tabla 45:** Características modelo SGT-600
- Tabla 46:** Características del ducto
- Tabla 47:** Características del ducto
- Tabla 48:** Ventilador Serpent
- Tabla 49:** Ventilador Ziebtec
- Tabla 50:** Ventilador Chaccourt
- Tabla 51:** Información del Software
- Tabla 52:** Información del equipo sísmico GEODE
- Tabla 53:** Información del equipo sísmico GEODE DZ
- Tabla 54:** Información del equipo sísmico ES 300
- Tabla 55:** Información del equipo sísmico ESS 500
- Tabla 56:** Información del equipo sísmico ESS 200
- Tabla 57:** Información del equipo sísmico Minivib Shearwabe
- Tabla 58:** Información del equipo CG-5 AutoGrav Gravímetro
- Tabla 59:** Información del equipo CG-5 AutoGrav Gravímetro
- Tabla 60:** Información del equipo A-10
- Tabla 61:** Información del equipo GSM-19
- Tabla 62:** Información del equipo GEM-19T
- Tabla 63:** Información del equipo GSMP-35
- Tabla 64:** Información del equipo AeroTransportado

#### **Capítulo 6:**

- Tabla 65:** Características del equipo de perforación RPS3000.
- Tabla 66:** Características del equipo de perforación RPS3200
- Tabla 67:** Características del equipo de perforación SPS2600
- Tabla 68:** Características del equipo de perforación SPS2000
- Tabla 69:** Características de la plataforma de perforación hidráulica direccional.
- Tabla 70:** Características de la plataforma de perforación TDR -50
- Tabla 71:** Características de la plataforma de perforación
- Tabla 72:** Características de la plataforma de perforación rotatoria
- Tabla 73:** Características de la plataforma de perforación 44T.

## PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

El gas metano asociado a mantos de carbón, puede hallarse en casi todos los lugares donde exista este mineral. En el pasado era considerado como un residuo peligroso para la industria minera, pero hoy en día posee potencial como suministro de energía limpia y abundante que ayudará a reemplazar otros recursos provenientes de yacimientos convencionales en declinación.

Los desarrollos registrados recientemente en las tecnologías y las metodologías están desempeñando un rol importante para el aprovechamiento de este recurso no convencional. Algunas de estas tecnologías son adaptaciones de las utilizadas en las operaciones convencionales de aceite y gas, pero otras son aplicaciones nuevas diseñadas específicamente para abordar propiedades únicas del carbón.

Actualmente los cambios derivados a raíz de la Reforma Energética y con la creación de la Ley de Hidrocarburos, que tiene por objetivo producir hidrocarburos a menor costo, las industrias mineras deberán utilizar herramientas que les ayude con el desarrollo de proyectos de gas asociado a los mantos de carbón, ya que hoy día no se requiere llevar a cabo procesos de licitación para adjudicar contratos para la exploración o extracción si no se podrá adjudicar directamente a los titulares de las concesiones mineras.

En México existen esfuerzos aislados en el aprovechamiento de gas asociado a mantos de carbón y las únicas referencias existentes son las prácticas y experiencias de otros países, particularmente de Estados Unidos; las cuales se intentan adaptar a los programas de aprovechamiento de gas en minas de carbón en México.

De este modo tenemos por objetivos:

- Clasificar, ordenar y analizar información existente acerca de los temas referentes al aprovechamiento de gas asociado a los mantos de carbón.
- Investigar las tecnologías disponibles, tanto actuales como emergentes, para proyectos de aprovechamiento de gas asociado al carbón.
- Elaborar una metodología de vigilancia tecnológica, para la detección de tecnologías en puntos clave dentro de los proyectos de aprovechamiento de gas en minas activas y en mantos vírgenes de carbón.
- Generar mapas tecnológicos, mediante la metodología de vigilancia tecnológica, que sirvan como una herramienta visual para la consulta de fácil y rápido acceso en los temas concernientes a los proyectos de gas asociado al carbón.

## RESUMEN

Los proyectos de aprovechamiento de gas metano de las minas de carbón, requiere de un complicado proceso de extracción que sucede antes, durante y después del minado. Los métodos de aprovechamiento de gas consisten en: previo al minado (Coalbed Methane, CBM por sus siglas en inglés), el cual consiste en perforar mantos vírgenes de carbón, que para esta tesis el CBM será llamado Gas Asociado a Mantos de Carbón (GAMC en adelante); durante el minado (Coal Mine Methane, CMM por sus siglas en inglés), que de igual manera será renombrado como Gas en Minas de Carbón (GMC en adelante) y gas extraído de minas abandonadas (AMM por sus siglas en inglés).

En este sentido, esta tesis desarrolla de manera general los dos primeros temas, los cuales son: GMC y GAMC de la siguiente forma.

En el Capítulo 1 Iniciaremos con la definición y formación del carbón; este capítulo menciona propiedades físicas y químicas del carbón, sus aspectos geológicos, ambientes de depósito, su marco tectónico y estructural, hidrogeología y el origen del metano en el carbón.

El Capítulo 2 aborda la importancia del control del gas y de cómo repercute en el desarrollo de una mina, cabe mencionar que también abordaremos de manera general como se desarrolla un proyecto minero desde sus inicios, no importando si es un desarrollo de minería a cielo abierto o subterráneo. Además encontraremos en este capítulo las opciones que en la actualidad existen para el aprovechamiento del gas en minas de carbón como son la quema y la generación de energía. Finalmente mencionaremos las actividades que son necesarias para remediar todo el impacto generado por la explotación de la mina en una zona.

Posteriormente el Capítulo 3, explica cómo es el desarrollo de un campo de gas asociado a los mantos vírgenes de carbón (GAMC); iniciando con la definición de este tipo de proyectos, se abordan los temas de exploración, terminación, perforación y fracturamiento hidráulico además del uso y manejo del agua producida ocasionada por la perforación y extracción del gas.

Continuando, el capítulo 4 define qué es la vigilancia y mapeo tecnológico; cuyo capítulo tiene como objetivo: elaborar una metodología de Vigilancia Tecnológica para la creación de Mapas Tecnológicos, los cuales tienen como propósito: Optimizar los tiempos y las conclusiones de su aplicación, lo que redundará en información oportuna y adecuada para la toma de decisiones de la organización.

Por último, (Capítulos 5 y 6) se muestran las tecnologías que existen y se usan para el aprovechamiento de gas para cada tipo de proyecto (GMC, GAMC).

## INTRODUCCIÓN

Con la creciente demanda de energía en el planeta, se hace necesaria la constante búsqueda de nuevas fuentes de estos energéticos, y gracias al constante desarrollo de nuevas tecnologías se ha avanzado en la explotación y desarrollo de yacimientos no convencionales.

Con el actual desarrollo de las reservas de gas natural convencional, las fuentes no convencionales, que en el pasado eran vistos como poco rentables e innecesarios, hoy cobran gran importancia. La Agencia Internacional de energía define el “gas no convencional” como el gas que es tecnológicamente más difícil o más caro de producir que el gas convencional. Los recursos de gas no convencionales se clasifican en metano en capas de carbón (coalbed methane), gas en areniscas de baja permeabilidad (tight gas) y gas en lutitas (shale gas). Otros enormes recursos de gas no convencional son los hidratos de metano (moléculas de metano atrapadas en compuestos helados de agua), pero no se espera que contribuyan a la producción en los próximos años.

El gas asociado a mantos de carbón es un importante recurso energético capaz de prestar soporte a la demanda de energía. Como yacimientos no convencionales de gas natural, además de los mantos de carbón, podemos encontrar gas natural en lutitas y areniscas de baja permeabilidad. Esta tesis se centrará solo en el metano asociado a los mantos de carbón en minas activas y en mantos vírgenes; que como ya se había mencionado serán llamados Gas en Minas de Carbón (GMC) y Gas asociado a los Mantos de Carbón (GAMC) Para poder competir y mantenerse al día, las empresas deben utilizar nuevos instrumentos de análisis que permitan la detección temprana de oportunidades y amenazas. La Vigilancia Tecnológica, propone precisamente obtener información sobre lo que está sucediendo en una determinada área tecnológica; en qué temas se está investigando, cuáles son las líneas de investigación emergentes, cuáles son las empresas y los equipos de investigación líderes.

Hoy en día las empresas están siendo afectadas por la gran competencia que hay a nivel mundial, en la cual ya no solo priman los precios bajos o la calidad para poder sobrevivir en el mercado, sino la capacidad de innovación que tenga la compañía para poder introducir nuevos o mejorados productos o servicios, teniendo en cuenta que para esto se hace necesario un cambio organizacional, que involucre mejoras en los procesos para atender de una forma más adecuada las necesidades y deseos de los clientes, consiguiendo así la permanencia en el mercado.

Es notable la necesidad de aplicar herramientas como la vigilancia tecnológica en las organizaciones, pues al realizarla, estas sabrán que está ocurriendo con el mercado y sus principales competidores, cuales son los últimos avances tecnológicos que pueden ser aplicables a sus procesos, y que investigaciones deben organizar que no se estén realizando en el mercado. Esto con el fin de identificar oportunidades y amenazas, tomar decisiones estratégicas y lograr mejorar la competitividad en las entidades que la apliquen.

En esta tesis se describe el proceso asociado al desarrollo de gas en carbón señalando retos y oportunidades.

Así mismo se identifican los componentes a considerar por aquellos actores interesados, partiendo de la hipótesis del que al identificarlos, potencializaran su desarrollo.

## 1. Aspectos Geológicos del Carbón.

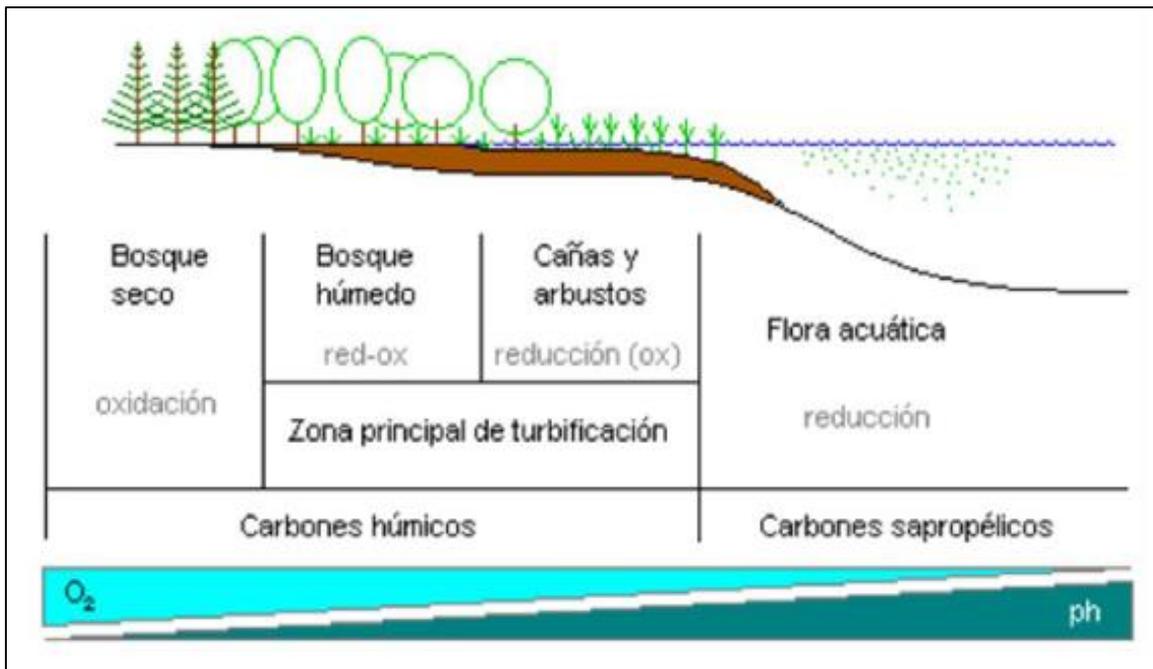
### 1.1. Formación del Carbón

La formación del carbón se inicia con la acumulación, compactación y transformación de la materia orgánica, que se va enriqueciendo en Carbono, durante el sepultamiento y con el paso del tiempo. Por definición, el carbón no es una sustancia única, sino más bien un grupo de rocas sedimentarias compuestas principalmente de materia vegetal alterada. La composición del carbón ha evolucionado en respuesta a la temperatura, presión y al ambiente químico. En promedio el carbón mineral está compuesto de 59% de carbono, 33% de oxígeno; 6% de hidrógeno y 2% de nitrógeno.

El carbón mineral tiene origen orgánico y normalmente es formado in situ; sin embargo, los restos de los vegetales pueden ser transportados y depositados en las zonas litorales, de deltas y cuencas marinas someras cercanas a la costa.

La degradación inicia durante una primera etapa de la diagénesis, donde ocurren procesos que van descomponiendo la materia orgánica, debido principalmente, al ataque de las bacterias aeróbicas. En esta fase, los restos vegetales están cubiertos total o parcialmente por agua, donde se produce una primera reducción de volumen de la materia orgánica de hasta un 50%. Cuando las bacterias aeróbicas consumen todo el oxígeno se inicia otra fase donde la descomposición de la materia orgánica restante se efectúa por medio de bacterias anaeróbicas.

La acumulación de estos restos vegetales se realiza en lugares donde el nivel freático está en la superficie o muy cercana a ella, consecuentemente la humedad es sumamente alta, comúnmente se llega a acumular en pantanos, lagunas, deltas y zonas marinas someras (figura 1).

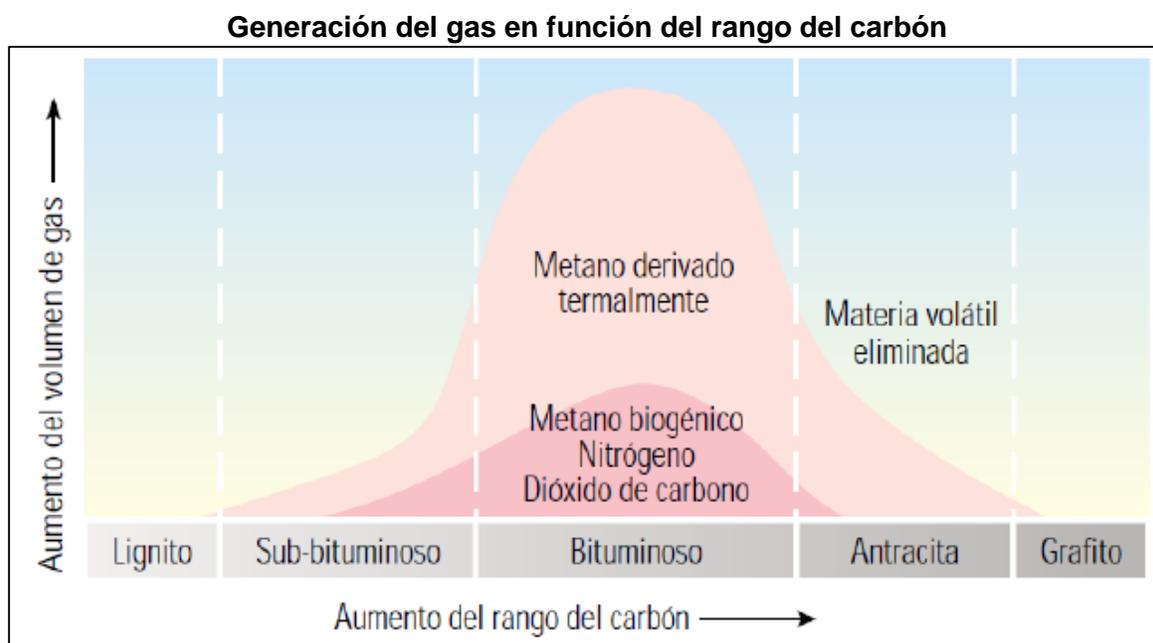


**Figura 1:** Ambientes de depósito para la formación del carbón. (Fuente: El gas asociado a los yacimientos de carbón mineral, 2010).

De esta manera se llega a formar una masa esponjosa de limos, arenas y arcillas con una gran cantidad de materia orgánica vegetal, que se ve sometida a través de millones de años a condiciones de alta presión y temperatura, provocando cambios bioquímicos por acción de bacterias, tal como se mencionó anteriormente. Se incrementa la presencia de carbono y se pierde oxígeno e hidrógeno. El proceso en general corresponde a una deshidrogenación incompleta, con una cinética relativamente lenta, correspondiente a la eliminación de los volátiles de la materia orgánica por calentamiento en ausencia de aire.

Se producen cambios físico-químicos que provocan la maduración del carbón, pasando de turba a lignito. El incremento en presión y temperatura transforma el lignito en carbón bituminoso, éste a su vez da paso a la antracita que es la penúltima en formarse bajo presiones y temperaturas más altas. Por último se puede presentar el grafito.

El gas metano se empieza a formar desde la primera etapa de carbonización, generando alrededor de 1,300 m<sup>3</sup> por tonelada de materia orgánica concentrada durante la formación de los diferentes tipos de carbón (figura 2). Sin embargo, gran parte de este gas es expulsado a través del tiempo, entrampándose en rocas porosas suprayacentes al formarse una trampa o inclusive puede emitirse hasta la atmósfera.



**Figura 2.** Generación de metano (1,300 m<sup>3</sup> por tonelada de materia orgánica desde la turba), con otros gases durante la maduración del carbón. (Fuente: Oilfield Review invierno2003/2004. Schlumberger, “Yacimientos de metano en mantos de carbón”).

Las condiciones y características físico químicas de cada tipo de carbón varían en cuanto a su capacidad calorífica, presencia de materia volátil, humedad, carbón fijo y normalmente, caen dentro de un rango específico. En la tabla 1 se muestran los valores característicos para cada tipo de carbón. Por otro lado, la presencia de cenizas es variable en función del tipo de carbón, influenciado por las condiciones de depositación de la cuenca sedimentaria.

RANGO			C fijo (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)	Poder calorífico (MJ/kg)
Antracita			86 - 98	< 3	< 5	23 - 33
Bituminoso (bajo, medio y alto en volátiles)			45 - 86	5 - 10	10 - 30	24 - 35
Sub-bituminoso			35 - 45	15 - 30	30 - 40	20 - 21
Lignito			25 - 42	40 - 60	40 - 50	10 - 20
Turba			< 25			

**Tabla 1.** Características de los carbones en base a su rango de maduración. (Fuente: El Gas Asociado a los Yacimientos de Carbón Mineral)

En síntesis, la carbonización es el proceso en virtud del cual restos orgánicos acumulados en estratos de la corteza terrestre en épocas pasadas, van perdiendo hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y aumentando su proporción de carbono. (Fernández López, S.R. 2000).

Se estima que 12 metros de vegetación (materia orgánica de vegetales mayores) logra formar un manto de carbón de un metro de espesor (Barker, 2001).

Desde la acumulación de la materia orgánica hasta la formación de turba, se empieza a generar gas metano de tipo biogénico, el cual en su mayoría es expulsado y puede acumularse en rocas suprayacentes o emitirse a la atmósfera. Lo mismo va ocurriendo durante las siguientes etapas de carbonización hasta llegar al lignito (donde la expulsión del gas continúa hasta en un 93%). Para el caso de carbones bituminosos y antracíticos, la expulsión es alrededor del 5% del gas (Barker, 2001).

*Existen dos fases de carbonización:*

1. Evolución del carbono a partir de las plantas mayores para generar turbas y lignitos. Esta es la fase bioquímica o de diagénesis, que se desarrolla bajo condiciones casi normales de presión y temperatura.

2. Durante la fase catagénica se forman carbones en el rango de carbón bituminoso a carbón antracítico. Esta es considerada una fase metamórfica donde la presión y temperatura son los principales factores de transformación de la materia orgánica.

Es importante considerar que los efectos de la temperatura, la presión y el tiempo geológico, son determinantes para que se dé la carbonización. De tal forma que el contenido de carbono fijo, aumenta progresivamente con la profundidad de sepultamiento, tal como se muestra en los siguientes datos:

- a. Lignito con 65% de carbono
- b. Carbón bituminoso con 80% de carbono
- c. Antracita con 95% de carbono.

En la figura 3 se presenta un esquema que resume las condiciones explicadas en la formación del carbón en sus diferentes etapas de maduración:

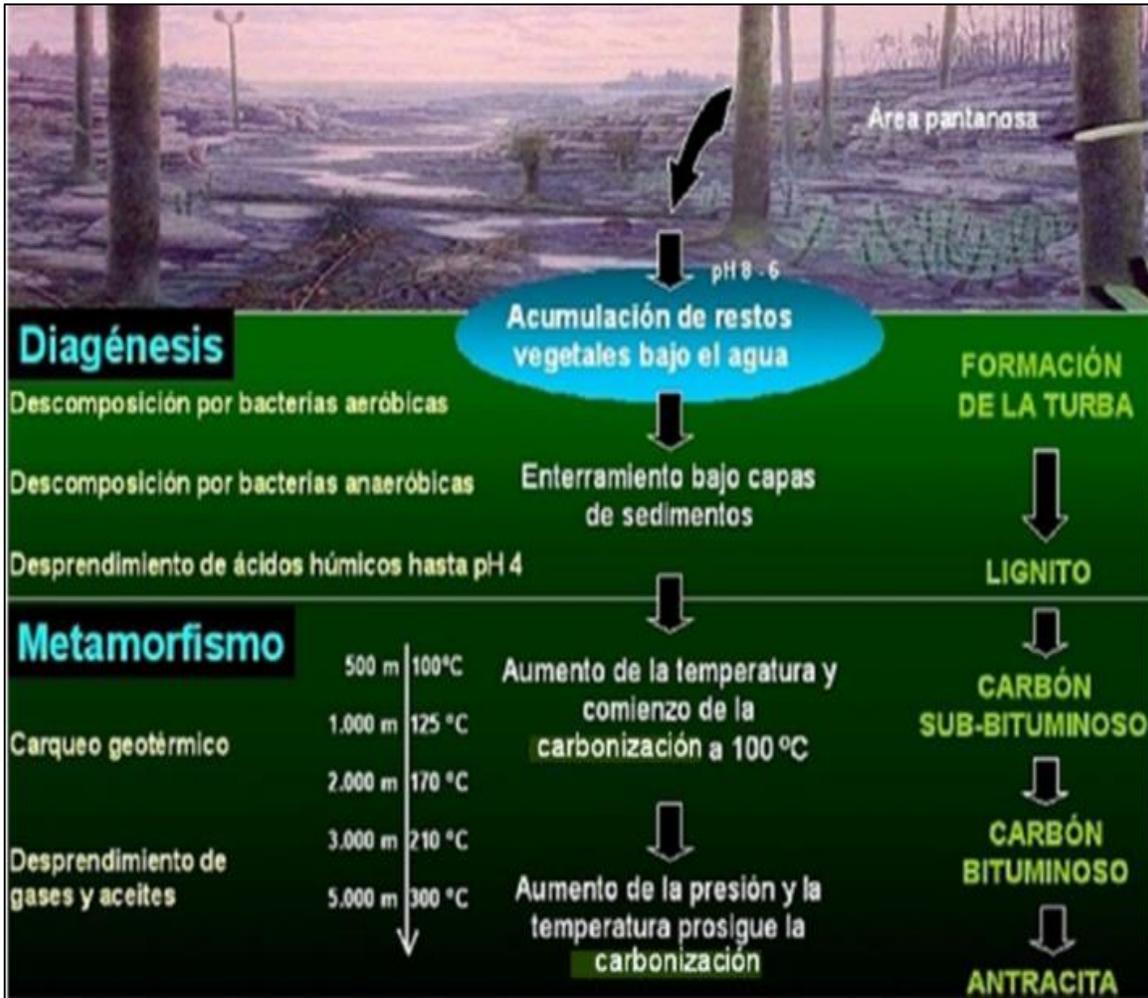


Figura 3. Procesos de formación para los diferentes tipos de carbón. (Fuente: El Gas Asociado a los Yacimientos de Carbón Mineral)

## 1.2. Propiedades físicas y químicas del carbón.

Las propiedades físicas y químicas pueden variar significativamente de manto a manto. El carbón es clasificado por tres características principales:

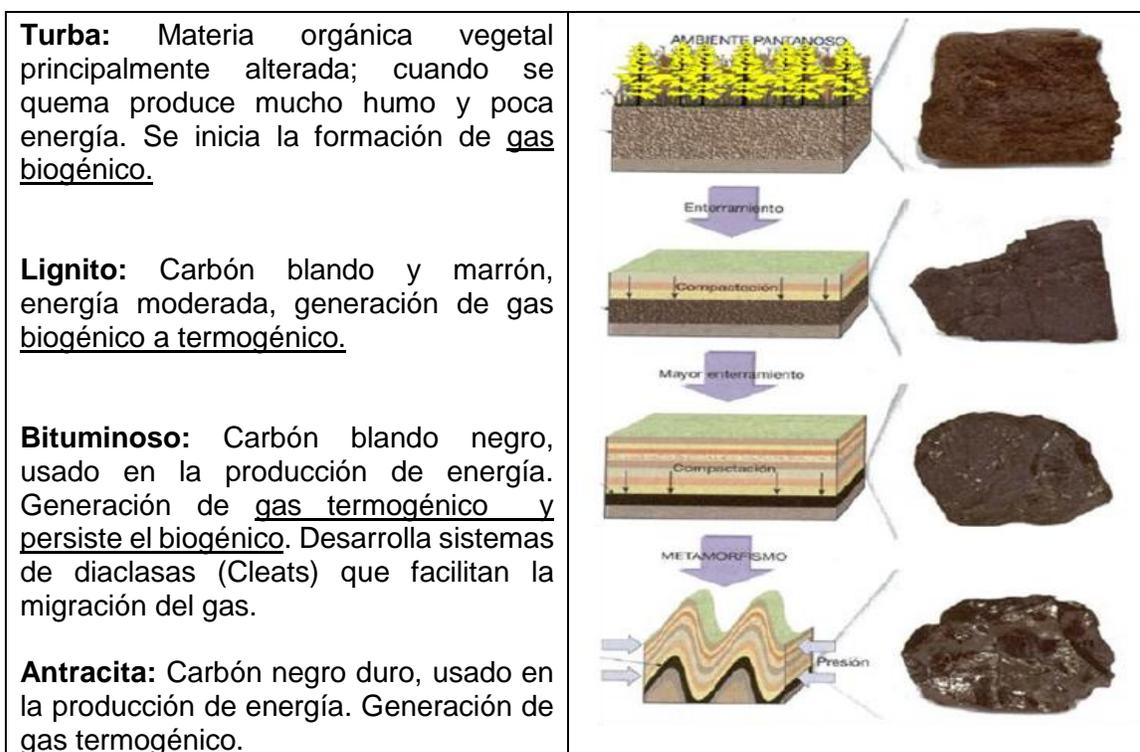
- **Grado.** Representa el porcentaje relativo de componentes orgánicos a componentes minerales.
- **Rango.** Representa el nivel de maduración alcanzado, que va desde turba hasta antracita.
- **Tipo.** Representa los diversos constituyentes orgánicos.

### 1.2.1 Grado de carbonización.

El grado de carbonización, es el grado de cambios que ha sufrido la turba hasta transformarse en antracita, define las propiedades físicas y químicas del carbón. Los carbones de bajo rango, como el lignito y los carbones sub-bituminosos son típicamente suaves con apariencia terrosa. Se caracterizan por niveles de humedad muy altos y bajo contenido de carbono, lo que les imprime la característica de tener bajo poder calorífico. Los carbones de alto rango son generalmente duros y fuertes, de color negro y lustre vítreo, contienen más carbono, menos humedad y producen más energía. La antracita está en la cima de la escala y tiene de forma correspondiente más poder calorífico y humedades muy bajas.

### 1.2.2 Rango del carbón:

El rango del carbón influye profundamente en el manto de carbón de dos maneras. En primer lugar, los procesos de carbonización (tanto termógeno como biogénico) están asociados con la generación de petróleo y gas en el subsuelo. Así, una proporción sustancial del metano, dióxido de carbono, y otros componentes volátiles ocluidos del carbón puede generarse a partir del carbón como subproductos de la carbonización. En segundo lugar, todas las propiedades físicas y químicas del carbón sufren una alteración sustancial durante la carbonización. Los cuatro niveles del rango del carbón son (figura 3):



**Figura 4.** Evolución del carbón y generación de gas metano. Fuente: Modificado de estudio de Gas Asociado al Carbón Mexicano. Martínez L, 2008, Universidad de Nancy Francia.

### 1.2.2.1. Gas biogénico:

El metano o gas biogénico primario, es generado por turbas a relativamente baja temperatura y profundidad y no parece existir mecanismos de retención de este gas debido a su poca profundidad, bajas presiones y los limitados puntos de adsorción. La mayoría del gas biogénico y del dióxido de carbono se disolverá en el agua de formación y seguidamente será expulsado del sistema durante la compactación y carbonización.

La mayoría de los gases biogénicos en mantos de carbón están probablemente asociados al flujo de las aguas subterráneas y son generados por procesos biogénicos secundarios. Los gases biogénicos secundarios son generados por la actividad de bacterias introducidas por aguas meteóricas (agua que cae proveniente de fenómenos meteorológicos, tales como la lluvia, nieve y granizo) y transportadas por mantos de carbón permeables u otras rocas ricas en materia orgánica. Estos gases biogénicos secundarios difieren de los primarios porque las bacterias son introducidas en los mantos de carbón después del sepultamiento, la carbonización y la subsiguiente elevación de los márgenes de la cuenca. Los gases biogénicos secundarios (GBS) son conocidos por aparecer en carbones sub-bituminosos a bituminosos con pocos volátiles, y probablemente aparecen en carbones que van desde lignito a semiantracita.

La circulación de aguas subterráneas (la introducción de bacterias) solo tiene lugar después de la formación de fracturas inducidas por la carbonización, del levantamiento de la cuenca y de la exposición del acuífero en los márgenes de la cuenca. Los gases biogénicos secundarios son más abundantes de lo reconocido hasta ahora y representan una parte importante de los gases en capa de carbón.

### 1.2.2.2. Gas termogénico:

La generación de gases termogénicos en capa de carbón puede separarse en dos fases: temprana y principal. Los gases termogénicos tempranos son generados por el carbón en el rango de bituminoso rico en volátiles. Estos gases termogénicos tempranos están comúnmente caracterizados por cantidades sustanciosas de etano, propano, y otros componentes de gases húmedos derivados de carbones ricos en hidrógeno. Los gases en capa de carbón derivados de carbones pobres en hidrógeno o carbones sujetos a degradación bacteriológica secundaria no contendrán cantidades apreciables de gas húmedo.

Meissner sugirió que el umbral de generación del metano termogénico en capa de carbón ocurría para valores de reflectancia de la vitrinita (medida de la maduración térmica de la materia orgánica. Paul Hackley 2009) de aproximadamente 0,74%. Pese a todo, esta estimación estaba basada en los cambios en la materia volátil (aceptando que el carbón representaba un sistema cerrado) y sobrestima la producción de metano verdadero en tanto que subestima el umbral de generación de metano termogénico.

Una vez se alcanza el umbral de generación de metano termogénico entre valores de reflectancia de la vitrinita de 0,8 a 1%, pueden ser generadas cantidades significativas de metano de los mantos de carbón. El potencial de generación de metano de un carbón está directamente relacionado con su composición maceral; carbones ricos en hidrógeno son capaces de generar más metano que otros carbones pobres en hidrógeno, asumiendo que sólo se generan metano y dióxido de carbono. Sin embargo se sabe que los carbones generan hidrocarburos líquidos, lo cual sugiere que la cantidad actual de metano generado por los carbones ricos en hidrógeno puede ser significativamente menor, particularmente si los gases húmedos e hidrocarburos líquidos migran fuera del sistema y no están disponibles para un craqueado térmico a mayores temperaturas.

Rice en 1993 da una explicación a la gran variación de la composición molecular e isotópica de los gases de los mantos de carbón. Parece existir una relación entre la cantidad de gases húmedos y el rango. A rangos altos y bajos, todos los gases tienden a ser ricos en metano, pero en rangos intermedios, al menos algunas muestras resultan ser húmedas. También existe una relación aún mayor con la profundidad: los mantos de carbón superficiales tienden a producir gases relativamente secos, al contrario de lo que sucede con los mantos más profundos.

La mayoría de los proyectos comerciales de gas asociado al carbón están en carbones dentro de la gama de rangos de sub-bituminoso a bituminoso bajo en volátiles. Los carbones de este rango proporcionan contenidos de gas y permeabilidades óptimos.

En casi todas las áreas, los carbones aumentan en rango al incrementarse la profundidad debido a que el rango es principalmente influido por la temperatura, presión, y la longitud del sepultamiento. En aquellas excepciones en las que ciertos carbones a profundidades similares no tienen el mismo rango, obedece a variables como: ígneos intrusivos que pueden revertir el gradiente de rango por metamorfismo de contacto. La variación lateral del rango dentro de un carbón, generalmente está relacionada con la profundidad original del sepultamiento. Sin embargo, también puede ser causada por la proximidad a una fuente de calor, tal como un ígneo intrusivo o una fuente hidrotermal.

Aunque no es necesario conocer la reflectancia de la vitrinita o el contenido de carbono fijo del carbón, tales datos de los rangos suelen estar disponibles y pueden ser valiosos para determinar las tendencias en una zona. La reflectancia de la vitrinita es determinada promediando mediciones de luz reflejada usualmente desde la superficie de la vitrinita en muestras pulidas de carbón. La reflectancia de la vitrinita se incrementa con el rango y se reporta como porcentaje de luz reflejada. Normalmente se utiliza una inmersión media en aceite y el valor se reporta con un subíndice como Ro. La reflectancia de la vitrinita para carbones bituminosos se encuentra en el rango de 0.5 por ciento Ro a 1.5 por ciento Ro.

El poder calorífico puede ser útil en la estimación del rango, si los datos de reflectancia o de carbono fijo no están disponibles. El poder calorífico se determina por la combustión de una muestra de carbón en un calorímetro según la norma. Es comúnmente reportado en BTU/lb o calorías/gramo. El poder calorífico del carbón aumenta al incrementar el rango.

### **1.2.3 Tipo de carbón.**

#### **1.2.3.1. Macerales.**

Los macerales son los componentes orgánicos que constituyen el carbón, y representan algo similar a los que son los minerales para las rocas inorgánicas, aunque hay marcadas diferencias, tales como que los macerales no tienen una composición definida ni tienen estructura cristalina.

Definición de macerales: Constituyentes individuales de materia orgánica reconocibles con el microscopio óptico (Taylor et al., 1998). El término "maceral" fue utilizado por primera vez por Stopes (1935) para referirse a los componentes del carbón que se separaban por maceración.

Algunos macerales representan restos de plantas que constituyen algún tipo de estructura preservada. En otros casos son productos de degradación que están tan alterados que no se puede reconocer su procedencia de una parte concreta de las plantas.

Los distintos macerales se definen atendiendo a las características ópticas, pues se estudian con un microscopio petrográfico, normalmente de luz reflejada. Se describen a partir de su forma, color, reflectancia, dureza, relieve de pulido etc. que se observa con el microscopio.

Las descripciones del Comité Internacional de Petrografía del Carbón (ICCP por sus siglas en inglés) están definidas para microscopios de reflexión con objetivos de inmersión en aceite que es como se consigue un mayor contraste entre los macerales. Sin embargo, estos objetivos son menos habituales que los de aire y no están disponibles con tanta facilidad. Existen tres grupos macerales según su composición química y propiedades ópticas:

#### **GRUPO VITRINITA – GRUPO LIPTINITA – GRUPO INERTINITA**

Cuando se trata de macerales derivados principalmente del material ligno-celulósico, que corresponde a un bajo rango de evolución, se sustituye el término vitrinita por el de huminita. Por esto, con frecuencia, para este conjunto de macerales que tienen un mismo origen pero con un rango de evolución distinto, se utiliza el nombre de grupo huminita/vitrinita.

Las inertinitas producen la menor cantidad de gas. Las vitrinitas producen más gas que las inertinitas pero generalmente menos que las exinitas. Esta relación coincide con su contenido de hidrógeno; a rangos mayores del 29,5% de materia volátil o 89,5% de carbono, al contenido de hidrógeno de las vitrinitas excede el de las exinitas. Este fenómeno se conoce como ruptura de la carbonización. En este rango, las exinitas comienzan a liberar grandes cantidades de gas y se empieza a desarrollar la esquistosidad.

Cuando la materia orgánica es sustituida por minerales se constituyen fósiles, mientras que la carbonización da lugar a un material carbonoso que sigue siendo un compuesto orgánico con algunas cantidades de minerales (cenizas).

Las propiedades físicas que pueden ser útiles para evaluar el carbón en la producción de gas asociado a este son: densidad, porosidad, dureza, permeabilidad, compresibilidad, y un parámetro del rango (reflectancia (R), carbono fijo, o poder calorífico).

Algunas propiedades físicas y mecánicas del carbón son significativamente diferentes de la mayoría de las rocas del yacimiento. Algunas de estas diferencias incluyen una baja porosidad efectiva (incluyendo sólo los macroporos), menor densidad, permeabilidad esfuerzo-dependiente, alta compresibilidad, y un módulo de Young bajo. A causa de estas y otras diferencias del carbón, se han desarrollado simuladores de yacimientos específicamente para modelar la producción de gas asociado al carbón.

Debido a la naturaleza porosa del carbón, puede ser difícil determinar con exactitud su volumen y con ello su densidad. Generalmente, la densidad aparente se mide en lugar de la densidad real. La densidad aparente del carbón alcanza un mínimo en alrededor del 85 por ciento de carbono en el rango de los bituminosos bajos en volátiles. Lo anterior cobra importancia, ya que los recursos de carbón pueden estimarse con más exactitud si se conoce la densidad del carbón.

La porosidad de los carbones en el rango de los bituminosos medios en volátiles hasta la antracita es normalmente menos de cinco por ciento. La resistencia a la compresión del carbón alcanza un mínimo en el rango de los bituminosos bajos en volátiles.

La dureza del carbón es más comúnmente determinada por el Índice de Molturabilidad Hardgrove (HGI). Un alto valor de HGI indica un carbón débil y son más altos alrededor de 23 por ciento VM (seco, libre de cenizas). Un carbón bituminoso friable puede tener un valor de 90 o superior, mientras que un carbón fuerte no friable puede tener un valor de HGI de 50. Si el valor de HGI está disponible en la información existente, éste puede usarse como un indicador de la intensidad relativa de las diaclasas (fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, fracturas en las que sí hay deslizamiento de los bloques) Mattauer, Maurice (1973). Sin embargo, algunos carbones tienen un alto valor de HGI, pero poco o nada de cleating. Si las muestras están disponibles, es mejor determinar la intensidad de las diaclasas, contando el número de diaclasas por unidad de longitud, medido a lo largo de las caras de las diaclasas.

### **1.3. Geología del Carbón.**

Comprender la geología de los yacimientos de carbón es de gran valor para evaluar un prospecto. Se pueden usar una variedad de mapas para una evaluación del espesor del manto, espesor total de los mantos superiores a un pie, número de mantos de espesor mayor a un pie, contenido de gas en el manto objetivo, contenido de gas total por unidad

de área, elevación estructural del manto objetivo mostrando las fallas, ubicación y prominencia de las fallas, y la profundidad del objetivo más profundo. En algunas zonas, los datos pueden ser insuficientes para correlacionar y hacer los mapas de los mantos individuales, pero deberían permitir hacer los mapas del espesor total de carbón explotable. El espesor mínimo de carbones incluido en una base de recursos dependerá de la proximidad a otros mantos, contenido de gas, permeabilidad, etc. Un espesor mínimo arbitrario de un pie se utiliza para estimar algunas reservas, pero no es aplicable en todos los casos. Un mapa del rango de carbón (basado en el carbono fijo, reflectancia media, o algunas propiedades relacionadas con el rango) puede dar una indicación del contenido de gas en una zona donde no hay información del contenido de gas o son escasos para hacer un mapa.

Si se tienen suficientes datos para elaborar un mapa de gas por unidad de superficie, entonces comparar áreas y seleccionar una para los ensayos iniciales puede facilitar el análisis. Una vez que se selecciona un área potencial, se deben estimar las propiedades más importantes del yacimiento realizando operaciones de registro de pozos, corte de núcleos y pruebas de pozo. Primero se deben estimar propiedades como el espesor de carbón, contenido de gas, y permeabilidad porque estos controlan la viabilidad de un proyecto. Las pruebas se pueden detener o reenfocarse en otra área si se obtiene que cualquiera de estos factores determinantes es deficiente.

#### **1.4. Marco tectónico y estructural.**

La tectónica y la estructura de la cuenca es el parámetro más importante que controla los recursos de GAMC esto se debe a que:

- Determina el régimen de subsidencia, que a su vez condicionan las formas de sedimentación y la acumulación de turba.
- Dirige los procedimientos de carbonización para llegar a rangos suficientemente altos para la generación de gas termogénico a través del sepultamiento y la historia térmica.
- Orienta las fracturas generadas por esfuerzos en el carbón (diaclasas) y determina que fracturas están abiertas para mejorar la permeabilidad.
- Define las profundidades de perforación para alcanzar los yacimientos de carbón.
- Crea estructuras para el entrapamiento convencional del gas.

#### **1.5. Marco estratigráfico y ambiente de depósito.**

La aproximación genética al análisis estratigráfico se aplica para identificar aquellos estratos que fueron depositados durante episodios determinados con un ambiente de depósito común, o un sistema deposicional. El sistema de depósito ejerce un fuerte control sobre la productividad del GAMC ya que determina el tamaño, la potencia, la orientación, y la estratigrafía de los yacimientos de carbón. Los procesos de acumulación de turba y su preservación como carbón requieren un coeficiente de subsidencia delicadamente equilibrado que mantenga unos niveles de lámina de agua óptimos pero que excluya influjos disruptivos de sedimentos clásticos. El sistema de depósito también define el sustrato sobre el que el crecimiento de la turba empieza y dentro de cual se desarrollan las turberas. El tamaño de los mantos está controlado por el área de desviación de sedimentos en la turbera, y la potencia es determinada por el período de tiempo que la turbera permanece ininterrumpidamente bajo el influjo de la sedimentación. La arquitectura del ambiente de depósito determina la orientación de los carbones.

Por ejemplo los carbones de llanura costera, se alinean paralelamente a la línea de costa (Hamilton 1994). Los carbones fluviales, en contraste, están orientados normalmente según el buzamiento y cercanos a los canales fluviales. Las distribuciones de las areniscas y de los carbones están íntimamente asociadas, y una comprensión de la estructura deposicional y de la geometría del cuerpo arenoso puede facilitar la predicción de la distribución de la capa de carbón a lo largo de la cuenca. La existencia de una capa gruesa de carbón es fundamental para la existencia de recursos importantes de GAMC.

## **1.6. Permeabilidad.**

La permeabilidad de las fracturas es el parámetro del yacimiento que más afecta a la viabilidad de un pozo de GAMC, con suficientes recursos de gas in situ, presión del yacimiento, y unas características de difusión del gas y liberación favorables (rápidas). El conocimiento de la aparición y génesis de las diaclasas, que representan las vías de permeabilidad para el flujo de Darcy de gas y agua, es esencial para predecir la productividad de los yacimientos.

El conocimiento de la aparición y génesis de las diaclasas, que representan las vías de permeabilidad para el flujo de Darcy de gas y agua, es esencial para predecir la productividad de los yacimientos.

La permeabilidad es la medida de la capacidad de una roca para conducir un fluido. Esta se mide mediante la relación por el cual un fluido con viscosidad estándar puede moverse una distancia dada en un tiempo también dado. La unidad convencional de permeabilidad es el Darcy. Comparado con muchas rocas almacén, la permeabilidad del carbón es relativamente baja, así que el miliDarcy se usa más frecuentemente, con regularidad en el rango de 1 a 60 mD. Hughes y Logan (1990) consideran que la permeabilidad mínima requerida para poder recuperar metano es generalmente mayor de 1 mD. Paterson y Meancy (1991) indican que la literatura acerca de la permeabilidad del carbón es limitada, y que el comportamiento de la permeabilidad en el carbón es mucho más complejo que en otro tipo de roca.

La permeabilidad depende del tamaño de los poros, del tamaño y forma de sus interconexiones y de la longitud de éstas. En los mantos de carbón, existe un grupo de fracturas naturales llamadas cleat o diaclasas que producen las interconexiones necesarias.

Históricamente, los mineros reconocían la importancia de las diaclasas ya que era más fácil la minería si ésta iba en la dirección de la cara del carbón. Esta es la face cleat (diaclasas de frente) y forma el plano de más fácil ruptura. A 90° de las fracturas de frente están las butt cleat (diaclasas de fondo), que son más cortas y están peor definidas.

Las diaclasas de fondo normalmente terminan en las diaclasas de frente. Close (1993) realizó un detallado estudio de las diaclasas.

La permeabilidad in situ de una capa de carbón, es principalmente debida a la fracturación. En este punto, deben tenerse en cuenta tres factores:

1. La fracturación está sujeta a una presión de confinamiento. Si se incrementa, se provoca el cierre de las fracturas que reduciría la permeabilidad.

2. Como la fracturación de frente está mejor desarrollada que la de fondo, la permeabilidad es anisótropa, o sea, que la permeabilidad será mayor en la dirección de la fracturación de frente.
3. Si las fracturas contienen mineralizaciones, se puede producir su obturación reduciéndose la permeabilidad.

Es razonable esperar que la permeabilidad decrezca con la profundidad, a medida que la presión aumenta por el incremento del recubrimiento.

### **1.7. Hidrogeología.**

Algunos estudios han demostrado la importancia de la hidrogeología en la extracción de gas en mantos de carbón. Estos estudios indican que los mantos de carbón actúan comúnmente como acuíferos regionales, y esto indica una alta permeabilidad, una probable continuidad de los mantos y un recargo desde los márgenes de la cuenca. Si la permeabilidad del carbón es la adecuada los mantos de carbón pueden actuar como acuíferos, saturándose de agua, lo cual provoca la aparición de una presión de fluidos.

Como consecuencia del confinamiento la presión puede crecer por encima de la presión hidrostática, lo que significa condiciones de sobrepresión. En un yacimiento típico de GAMC, la hidrodinámica provoca la adsorción del gas en la superficie del carbón manteniendo la presión del yacimiento.

La presión efectiva tiende a cerrar las fracturas, ésta es igual a la presión total menos la de fluidos, ya que el agua tiende a mantener las fracturas abiertas. Por tanto al desaguar (sacar el agua que hay en un lugar) el yacimiento la permeabilidad de fracturación puede verse reducida al aumentar la presión neta de confinamiento.

Por otro lado, la extracción del agua disminuye la presión del fluido, y cuando baje lo suficiente, el gas se liberará del carbón provocando un encogimiento de la matriz del carbón lo cual causa un aumento de la permeabilidad.

De muchas maneras la hidrogeología conecta e integra todos los factores claves que afectan a la productividad del GAMC. Por ejemplo la distribución de la energía potencial (nivel piezométrico) y la masa (sólidos disueltos) identifica las corrientes regionales de aguas subterráneas e indica la anisotropía de la permeabilidad. La caracterización hidrológica puede revelar mucho sobre las condiciones del yacimiento, debido a que el gradiente hidráulico, el régimen de presiones, y la hidroquímica reflejan la habilidad para aceptar y transmitir fluidos y por tanto los contrastes de permeabilidad. Un ejemplo es la cuenca de San Juan, que muestra una alta permeabilidad correlacionada con un gradiente hidráulico estable, una sobrepresión artesiana y aguas de formación bajas en cloruros. La presencia de aguas poco cloradas indica un flujo activo y la existencia de caminos de permeabilidad. La baja presión, en contraste, refleja aislamiento hidrológico, permeabilidad reducida y recarga limitada en ausencia de un drenaje de alta permeabilidad. Excepcionalmente la alta extracción de GAMC se produce en la transición entre regímenes de presión.

Adicionalmente la hidrogeología afecta a la distribución de los contenidos de gas bajo la superficie y también influye en la composición del gas y sus orígenes (Scott y Kaiser 1996). Donde el yacimiento de GAMC esté dominado por una trampa convencional, la fuerte corriente de agua subterránea constituye el medio (en disolución u otros) para largas

migraciones de los gases hasta su entrapamiento e introduce bacterias para la generación de gases biogénicos secundarios. Aunque la hidrodinámica ayuda claramente al enriquecimiento en el contenido de gas para su extracción comercial, puede también ser negativo si la extracción se realiza cerca de áreas de recarga o si se extrae demasiada agua. La hidrogeología es el mejor control de la aparición y producción de GAMC, el cual se produce en varios asentamientos hidrológicos, pero es mayor en los lechos de carbón artesianos asociados a zonas de descarga, o a aquellos de flujo vertical.

### 1.8. El origen del metano en el carbón.

El carbón representa la materia vegetal biodegradada y alterada térmicamente. La materia vegetal se transforma en carbón por el proceso de carbonización. El proceso de carbonización comienza cuando los restos de las plantas caídas y muertas en las zonas emergidas de los pantanos se descomponen por oxidación inmediatamente después de depositarse debido a la presencia de microorganismos. Otra parte queda en un principio recubierta de agua, y su carbonización se produce más tarde al enterrarse paulatinamente con los sedimentos detríticos. La mayor parte del metano resultante de esta producción biogénica primaria fue probablemente emitida a la atmósfera o atrapada en los mantos superiores ya que casi todo el metano presente en el carbón se produjo más tarde, cuando aumentó la profundidad de los depósitos de la materia vegetal biodegradada. Este incremento de la profundidad fue acompañado de un aumento en la temperatura y la presión, que dieron lugar a alteraciones térmicas del carbón y a la producción de metano termogénico. El metano quedó almacenado en el interior de los mantos de carbón debido en parte a la presión existente. En los lugares donde descendió el grosor y la profundidad, se produjo una fuga de los gases, por lo que los carbones que sufren una mayor presión y se encuentran a mayor profundidad tienen un mayor contenido de gas. El gas que ha migrado desde los mantos de carbón puede almacenarse en los estratos adyacentes en función de su permeabilidad, y en algunos casos pueden ser explotables.

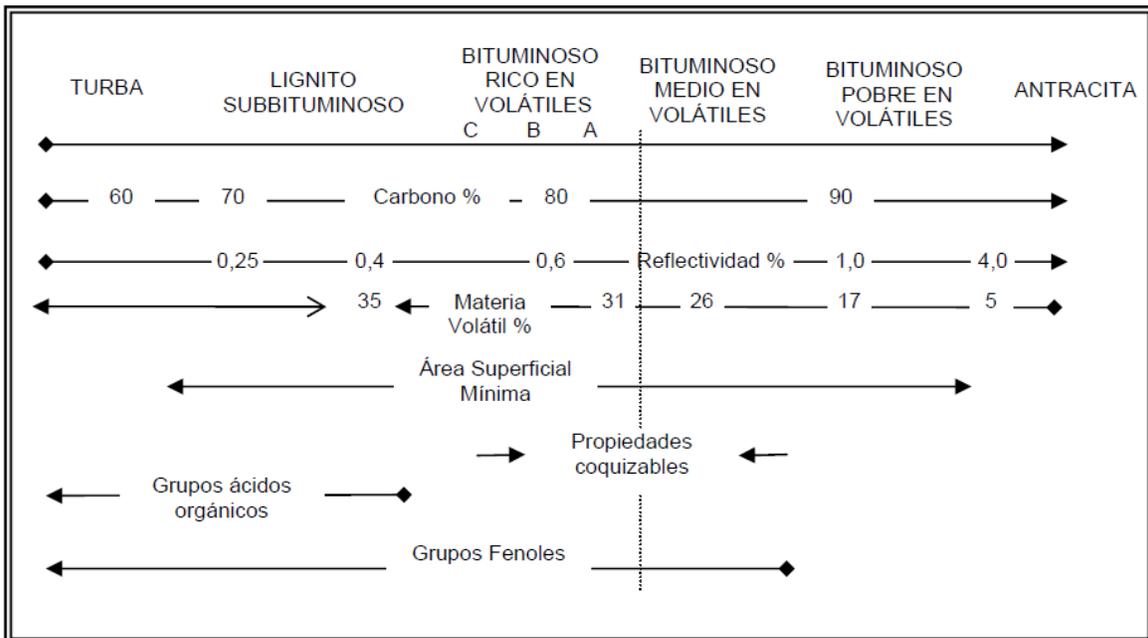


Figura 5: Rango del Carbón con respecto a sus principales parámetros. Fuente: The trace elements in Coal. Vol. 1

El rango del carbón es el grado o estado que el carbón alcanza durante su carbonización o maduración; es una descripción cualitativa de la secuencia de carbonización. La carbonización es la transformación progresiva de la turba pasando a través del lignito pardo/lignito, después al sub bituminoso, del carbón bituminoso hasta llegar a la antracita. Estos rangos están basados en aquellos usados ampliamente en la clasificación de la American Society for Testing Material (ASTM por sus siglas en inglés). Para averiguar el rango de un carbón se utilizan una serie de indicadores, entre los que se encuentran las materias volátiles (Mv), el valor calorífico y la reflectancia de la vitrinita: al aumentar un carbón en rango, aumenta su valor calorífico, la reflectancia de la vitrinita y el porcentaje de carbono y disminuye su contenido en materia volátil. La transformación química que supone un aumento del rango del carbón consiste en que el contenido de carbono en el carbón aumenta a la vez que se produce una pérdida de oxígeno e hidrógeno. El oxígeno puede perderse por deshidratación (pérdida de agua) y por decarboxilación (pérdida de dióxido de carbono). El hidrógeno también puede perderse por deshidratación pero la reacción de mayor interés es la desmetilación (pérdida de metano). El carbono alifático y el hidrógeno se pierden principalmente como metano y el carbón se va enriqueciendo en carbono y en aromáticos.

Hay un pico en la producción del metano que coincide con la etapa de formación del carbón bituminoso. En términos de rango de carbón, este pico se encuentra a menudo en la separación entre el rango bituminoso medio en volátiles (Bmv) y el bajo en volátiles (Bbv). Muchos autores han indicado que la cantidad de metano producida durante la carbonización puede superar a la cantidad de gas encontrado en los yacimientos de carbón debido a que o bien se ha escapado a la atmósfera o bien ha migrado a las capas adyacentes.

Los procesos descritos anteriormente están basados en la producción termogénica del metano por las mismas reacciones responsables de la alteración térmica de la materia carbonosa. A veces tiene lugar una producción de metano biogénico secundario después de formarse la cuenca carbonífera. Esto podría deberse a una bacteria introducida dentro del depósito de carbón por el agua que circula a través de las capas permeables. La bacteria metaboliza los componentes del carbón tales como n-alcenos, que generan metano y algo de dióxido de carbono.

En resumen, la formación de metano durante la carbonización está gobernada por cinco factores fundamentales: el rango del carbón, el tipo de carbón (composición de macerales), el metamorfismo experimentado, la historia tectónica y el contenido en cenizas o materia mineral.

### **1.9. Composición del Gas Asociado a los Mantos de Carbón (GAMC).**

La mayoría de los gases generados en los mantos de carbón, incluyen metano, dióxido de carbono, nitrógeno, y componentes de gas húmedos (etano, propano, etc.). El rango del carbón y la composición maceral, particularmente la abundancia de material orgánico rico en hidrógeno, y la hidrodinámica de la cuenca, controlan la composición de los gases producidos. En general, los gases en carbones de bajo rango (valores de reflectancia de la vitrinita menores del 0,5%) son biogénicos, mientras que los gases en carbones de mayor rango son predominantemente termogénicos, aunque los gases biogénicos pueden estar presentes en cualquier rango.

La composición de los gases cambiará con la reducción de la presión del yacimiento. La variabilidad de la composición del gas durante la extracción dependerá de la concentración

inicial de las especies adsorbidas y de las isothermas de adsorción específicas de cada gas presente (las isothermas de adsorción son específicas de cada región y/o muestra de carbón).

- *Humedad*: La mayor parte de la pérdida de agua del carbón ocurre durante las fases tempranas de carbonización antes de que el carbón alcance el rango de sub-bituminoso. El contenido de humedad decrece desde aproximadamente el 20% a menos del 10% durante la fase temprana de generación de gas termogénico y es inferior al 5% durante la fase principal. La baja humedad inherente es importante debido a que la capacidad de adsorción del carbón está parcialmente controlada por el contenido de humedad. Un contenido de humedad del 5% puede reducir la capacidad de adsorción de un carbón en más de un 50%.

- *Dióxido de Carbono*: aunque el dióxido de carbono se produce por carbonización y puede estar presente en los yacimientos de GAMC, su concentración es normalmente baja. Esto se debe a que el dióxido de carbono generado durante la carbonización es eliminado de la estructura del carbón debido a su solubilidad en el agua, la cual permite que se escape del carbón más rápidamente que el metano.

La cantidad total de dióxido de carbono producido por bacterias bajo condiciones de depósito no ha sido determinada. Sin embargo, si solo el 1% del carbón se convierte en dióxido de carbono durante la biodegradación secundaria, se generaran aproximadamente 177 scf/ton de dióxido de carbono. Aunque el dióxido de carbono primario es eliminado del sistema durante el desaguado en la carbonización, una cantidad significativa de dióxido de carbono secundario puede permanecer absorbido en carbones de mayor rango.

- *Gases húmedos*: Etano, propano, butano, pentano, n-alcanos más pesados son generados por los carbones ricos en hidrógenos durante la carbonización. Estudios previos de la carbonización estaban basados en carbones que aparentemente tenían poco potencial de generar cantidades apreciables de gases húmedos durante la carbonización. Sin embargo, cantidades significativas de gases húmedos están presentes en los mantos de carbón y la producción de condensados es común a muchos carbones del oeste de los Estados Unidos. Con el aumento de la maduración, los carbones ricos en hidrógeno entran en la ventana de generación del petróleo (valores de reflectancia de la vitrinita sobre 0,5%) y pueden generarse cantidades significativas de gases químicamente húmedos y de hidrocarburos líquidos.

La introducción de bacterias en los carbones por agua meteórica puede también metabolizar los gases húmedos en cualquier rango para producir gases que químicamente se asemejen a gases termogénicos de cerca del 100% de metano.

- *Nitrógeno*: Ha habido relativamente pocos estudios sobre la liberación de nitrógeno en materia orgánica durante la carbonización. La pérdida de grupos funcionales de nitrógeno unidos a la estructura molecular del carbón está asociada con el metabolismo bacteriológico y/o tiene lugar durante la maduración termal del carbón.

Cada componente del gas tiene unas características de adsorción únicas y algunos gases, como el dióxido de carbono y el etano, están fuertemente absorbidos a las superficies del carbón, así como otros gases (nitrógeno y metano) lo están menos. Por tanto, el porcentaje de dióxido de carbono y etano en el gas extraído se incrementará según decrezca la presión con la extracción.

## 2. Desarrollo Minero de Carbón y Gas en las Minas de Carbón (GMC).

### 2.1 Importancia del control de Gas.

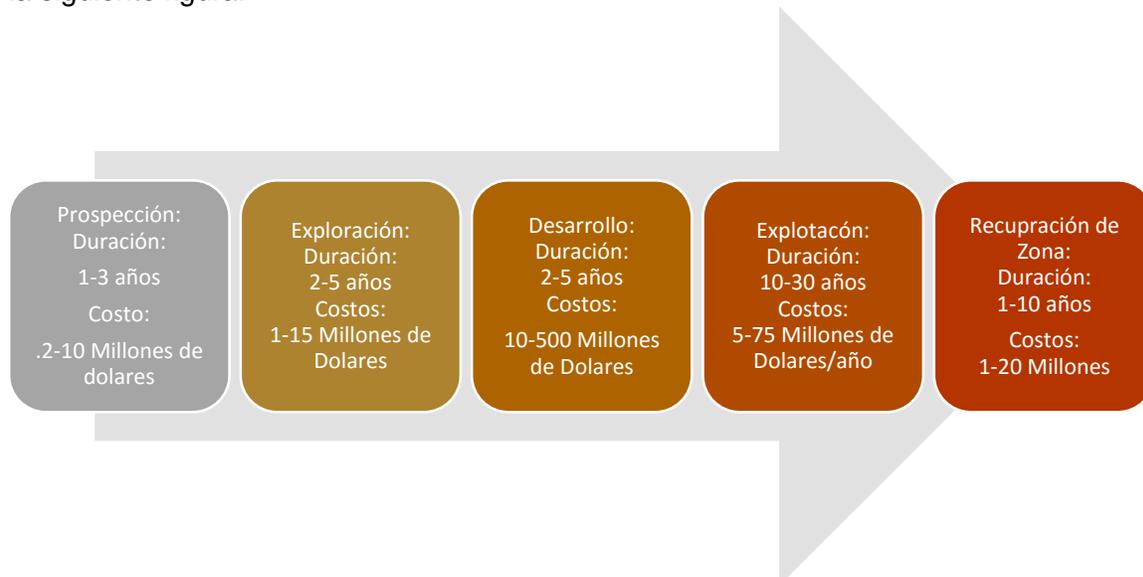
El control de gas, sin importar en qué tipo de proyecto, ya sea GMC o CMM por sus siglas en inglés (Coal Mine Methane), es de gran importancia; Un buen control tiene consecuencias mínimas en el ambiente y en la seguridad de los trabajadores; estos son aspectos donde los gobiernos, las compañías, así como los sindicatos están realizando esfuerzos en control y prevención, ya que las explosiones y los accidentes asociados al control del gas son frecuentes. Los problemas medioambientales, además, ya empiezan a ser irreparables, ya que estos tipos de formaciones, son grandes fuentes de generación de gas de efecto invernadero. Además el aprovechamiento eficiente de gas puede ayudar a que un proyecto se vuelva rentable dadas las nuevas aperturas de mercados nacionales como extranjeros en cuanto al aprovechamiento de gas

La industria minera del carbón ha trabajado durante años con el gas asociado que existe en el carbón, en el mejor de los casos se ha utilizado como una fuente alterna de generación de energía eléctrica de autoconsumo, en el peor de los casos, se ventea.

Para poder mantener regulaciones de alta calidad y poder aprovechar de una mejor manera el gas, se requiere saber un panorama general del desarrollo minero del Carbón.

### 2.2 Desarrollo Minero de Carbón.

La extracción de una mina de carbón invariablemente se divide en las etapas que muestra la siguiente figura:



**Tabla 2.** Ciclo de vida de un proceso minero (Fuente: INTRODUCTION TO MINNING, CAPITULO 1)

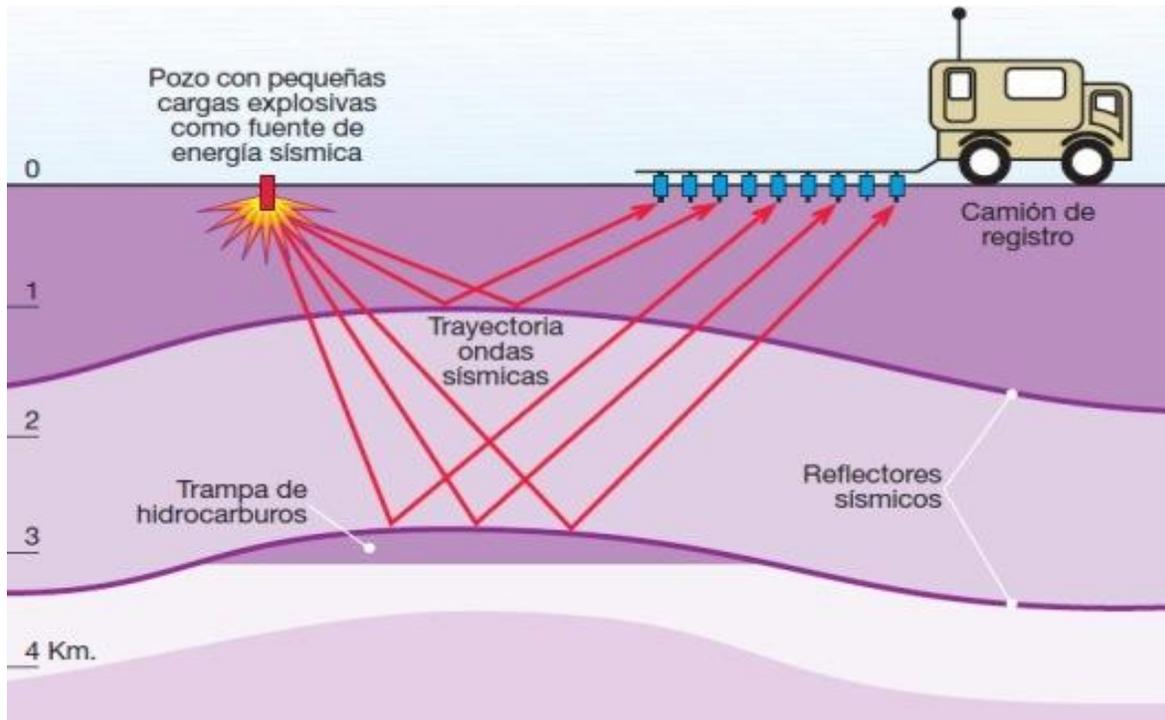
#### 2.2.1 Prospección.

Para este momento inicial solo podemos hablar de la existencia de un depósito mineral, dentro de las actividades de esta etapa, encontramos todas aquellas cuyo objetivo es encontrar el depósito y determinar sus características volumétricas así como las propiedades básicas del depósito, para ello se utilizan los métodos para descubrir el

depósito, estos pueden ser directos e indirectos, los métodos directos son baratos pero tienen la restricción de que solo son viables para yacimientos que son superficiales, entre los métodos indirectos tenemos aquellos como la sísmica y herramientas de prospección como la gravimetría y magnetometría. Esta etapa también tiene como objetivo el de pronosticar y determinar anomalías que pudieran afectar el proyecto de extracción en un futuro.

#### *Sísmica:*

Existen varios métodos sísmicos y su objetivo es determinar las características de geotécnicas como parte de un reconocimiento general de una zona de estudio. Hacen uso de las ondas sísmicas, estas pueden ser Longitudinales o de compresión, transversales o de cizallamiento, superficiales; dependiendo del tiempo en que resulte el rebote de estas ondas a un receptor, se basa las características de la zona.



**Fig. 6:** Ejemplo de realización de un estudio sísmico (Fuente: [www.cepsa.com](http://www.cepsa.com))

#### *Gravimetría:*

Se fundamenta en la primera ley de Newton en la que se expresa que existe una fuerza de atracción entre dos cuerpos con masa, donde el cuerpo con mayor masa atrae a la de menor a una distancia con una relación de proporcionalidad. Su estudio tiene como objetivo el poder distinguir la distribución de masas. De esta manera se pueden realizar aproximaciones 3D de las distribuciones, así como sus densidades de los sedimentos de estudio.

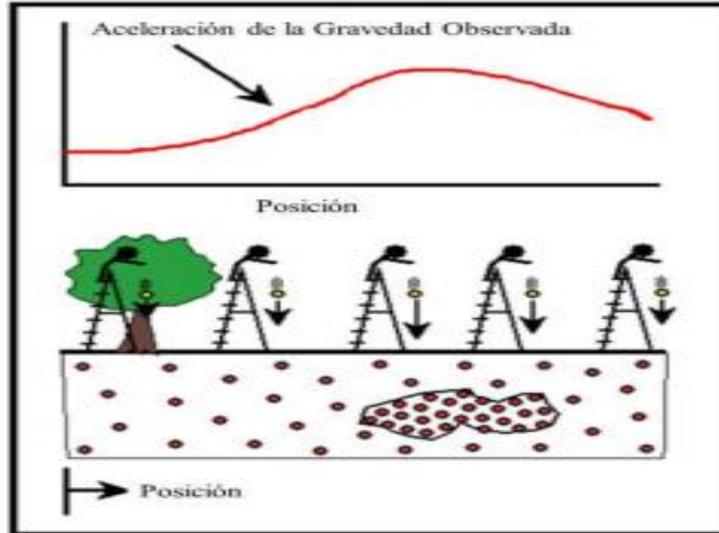


Figura 7: Ejemplo de proceso fundamental del método gravimétrico (Fuente: *Métodos Geofísicos, Capítulo 3 Método Gravimétrico*)

#### Magnetometría:

Al igual que la gravimetría, la magnetometría tiene por objeto el estudio de las distribuciones y características de los cuerpos terrestres; en este caso se hace uso de la herramienta que es el campo magnético; se fundamenta que cada cuerpo que puede ser magnetizado tiende a cambiar el campo magnético de su entorno, estos cambios son susceptibles a los equipos que finalizan por determinar que esos cambios son ocasionados por determinadas anomalías características de un cuerpo terrestre.

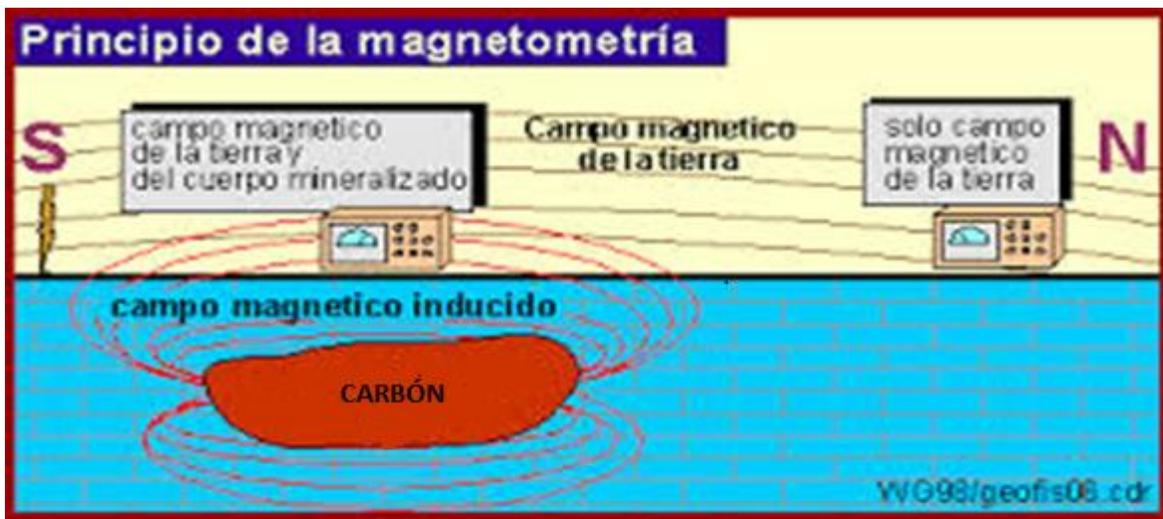


Figura 8: Principio de un estudio de magnetometría (*Apuntes de Geología General, capítulo 4: Magnetometría*)

### 2.2.2 Exploración.

La mayoría de las veces la diferencia de esta etapa y de la anterior no es muy visible, a medida en que la prospección avanza se incluyen en áreas dentro del territorio que espera explotar actividades de exploración, estas incluyen una determinación lo más precisa

posible de la riqueza del yacimiento así como las características del mineral, para determinar estos parámetros, son necesarias actividades como la toma de núcleos y registros; con estos parámetros calculados se puede aproximar un estimado de recursos, además de determinar los costos del proyecto, si tenemos asociado otro mineral diferente en el mismo yacimiento, así como las consecuencias de iniciar un desarrollo minero en el área.

**Registros Geofísicos:**

Son representaciones gráficas a la respuesta de una provocación física, esta respuesta es medida y registrada, además es característica única para cada litología de estudio.

Los registros más utilizados en la industria minera del carbón son los siguientes:

**Registro Rayos Gamma:**

El registro de rayos gamma, mide la radioactividad natural de las formaciones naturales en el subsuelo. Los Carbones varían el registro entre 5 y 50 API.

**Registro Resistivos:**

Los registros resistivos mediante una corriente miden la resistividad que ponen las litologías, esto ayuda en la interpretación de la saturación de fluidos, en este caso es el gas presente en el carbón (Log Analysis for Mining Applications, Firth D., 1994).

En general el carbón responde como se muestra en la figura 9 a los diferentes tipos de registros.

		GAMMA RAY		DENSITY		SONIC		POROSITY		RESISTIVITY Ω-M	
		0	API 150	1.0	GM/CC 3.0	140	μS/FT 40	50	SST PU 0	0	10 100 1000
COAL	BITUMINOUS	█		█		█		█		█	
	INFERIOR		█		█		█		█		█
	LIGNITE	█		█		█		█		█	
	ANTHRACITE	█		█		█		█		█	

**Figura 9:** Respuesta del carbón a los diferentes tipos de registro (Modificada de Firth D., 1994)

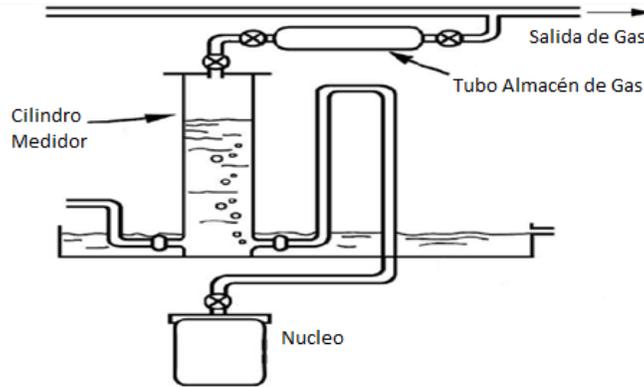
**Medición del Contenido del Gas de Carbón.**

**Desorción y Trituramiento:**

Dentro de una buena planificación para el desarrollo de transporte y ventilación dentro de la mina es fundamental saber el volumen máximo esperado de gas con el que se piensa trabajar; para poder determinar el volumen esperado son necesarias las pruebas con núcleos; estos se extraen de un pozo de sondeo, son preservados dentro de una cámara que intenta igualar las condiciones del yacimiento, el gas se hace pasar por un cilindro medidor para después captarlo y hacer estudios para determinar su composición química y así con forme pasa el tiempo se va midiendo la cantidad de gas liberado; para calcular el gas remanente dentro del núcleo, se pulveriza y de nuevo se hace una medida del gas liberado, por lo regular la relación de contenido de gas es de 30m<sup>3</sup>/t. (Diamond & Levine, 1981).

*Pirolisis:*

Es un proceso descomposición de materia orgánica de manera térmica, en ausencia de oxígeno, el cual provoca una ruptura molecular que da como resultado que la muestra suelte los elementos más ligeros, en este caso el Carbón suelte el gas adsorbido.



**Figura 10.** Proceso de Medición de Gas (*Basado en Diamond & Schatzel*)

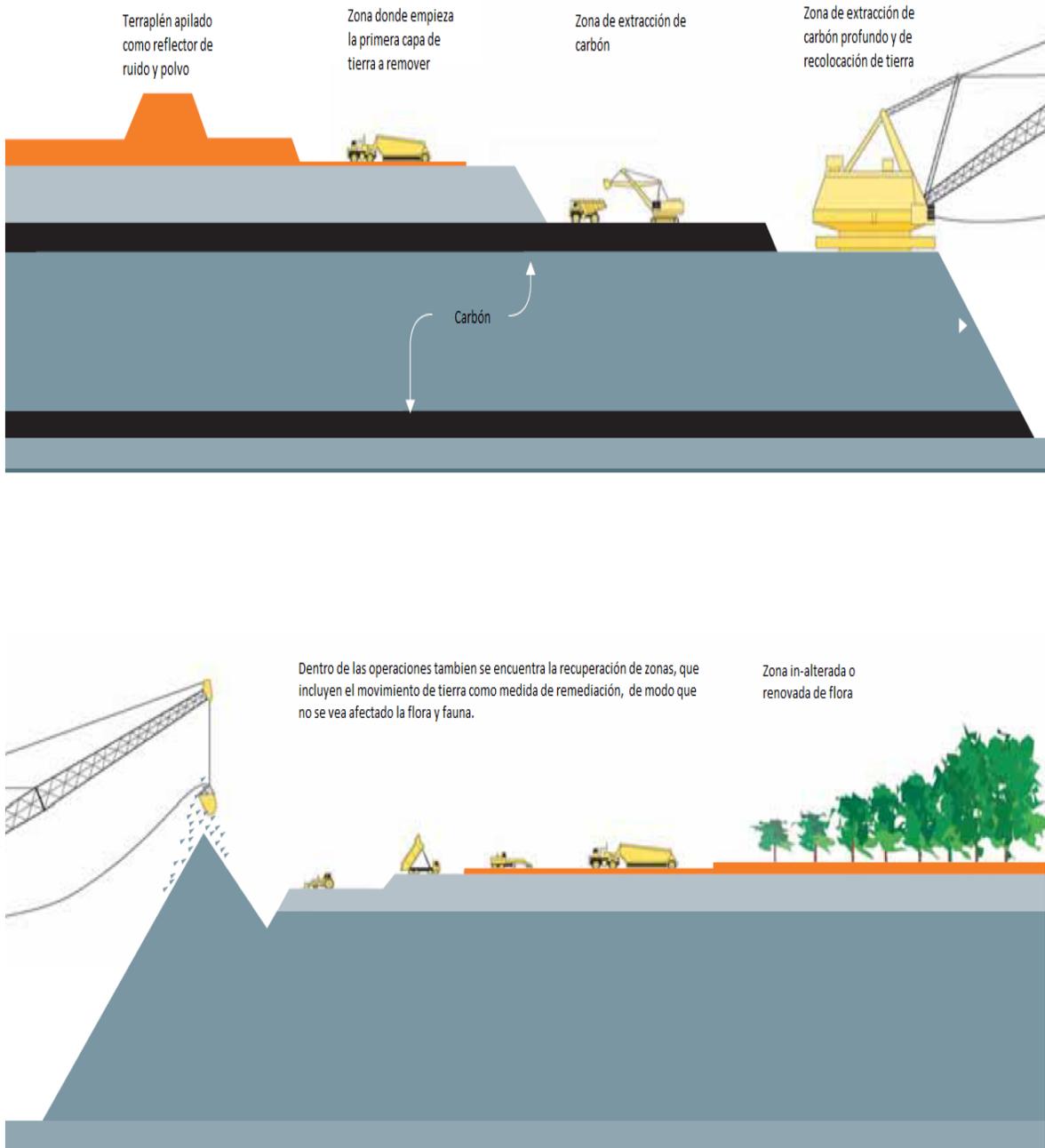
Algunas empresas han adquirido softwares que permiten hacer una simulación, éstos además de calcular el volumen máximo esperado dentro de la producción, y parámetros como concentraciones críticas para evitar accidentes, la cantidad de aire disponible en una ventilación, también permiten estimar la velocidad máxima aceptable y la captura y drene del gas dentro de las zonas de trabajo.

### 2.2.3 Extracción.

El periodo correspondiente de la extracción son todas las actividades relacionadas a la producción del mineral y se puede desarrollar con dos métodos:

*Minería a cielo abierto:*

La minería superficial es utilizada en el 85% de los casos (Coal Resource Overview of Coal report, 2009), Este método presenta muchas ventajas, es el método más utilizado en la extracción de las minas de carbón, y consiste en obtener el carbón desgastando a la formación con la maquinaria necesaria y obteniendo el recurso, este método se obtienen toneladas de escombros, que se tienen que manejar de forma correcta y evitar convertirlos en un contaminante más; El desarrollo de la extracción de una mina de forma superficial considera grandes áreas, las cuales están destinadas entre otros usos el asegurar un lugar para los residuos.



**Figura 11:** Ilustración de un proceso minero a cielo abierto (*Modificado de Coal Resource Overview of Coal report, 2009*)

Existen generalmente 3 tipos de minas a cielo abierto:

**Canteras:**

Son usadas para la explotación de recursos que no requieren de un tratamiento posterior, en algunos casos solo se tratan mediante trituración o clasificación de tamaños. Conforme el recurso se obtiene, se transporta. Se usa este método a cielo abierto con recursos rocosos ornamentales o industriales.



**Figura 12:** Cantera (Foto).

*Cortas:*

La Corta tiene una forma de cono invertido, y el área en la superficie está determinado por la profundidad a la que se encuentra el mineral, donde a mayor profundidad se encuentre el mineral, es mayor el área en la superficie. La selección de este método se rige bajo condiciones económicas y principalmente a la profundidad del mineral.



**Figura 13:** Ejemplo de una mina Corta (Foto)

*Descubiertas:*

En caso que el mineral se encuentre en un afloramiento, es decir a muy poca profundidad, se hace uso del método de descubiertas donde solo se requiere quitar la hierba en la superficie y explotar el recurso casi al mismo tiempo que efectuar una restauración del sitio.



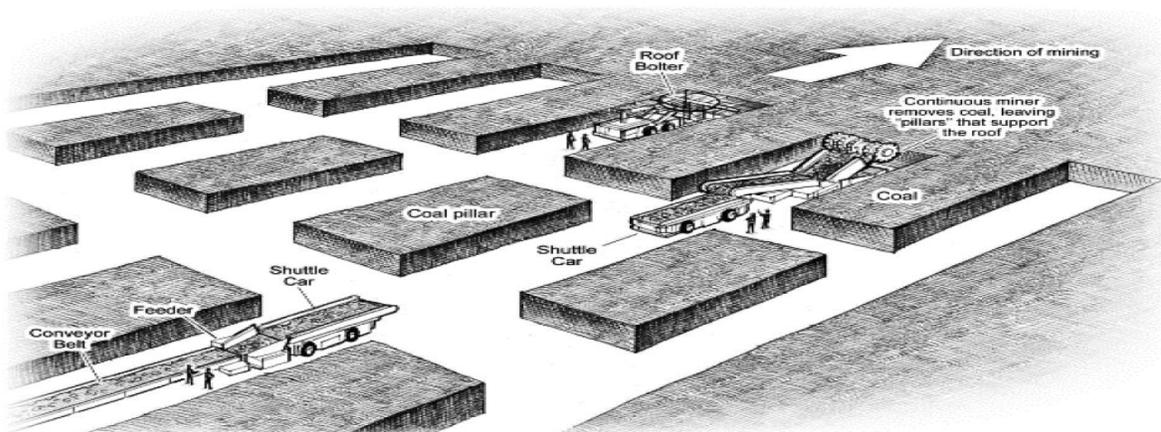
**Figura 14:** Mina descubierta en Alemania (Foto).

*Minería Subterránea:*

La minería subterránea es común en yacimientos donde no es posible alcanzar los minerales de forma superficial, dentro de una extracción referente a las minas de carbón existen dos métodos muy comunes y son los siguientes (EMFI Summary, 1994)

*Cuartos y Pilares:*

Esta forma de extracción consiste en generar cuartos de extracción distribuidos en toda la zona de extracción, consiste en ir derrumbando secciones determinadas para así poder explotarlo, este ciclo se repite hasta obtener el recurso del yacimiento (Figura 15).



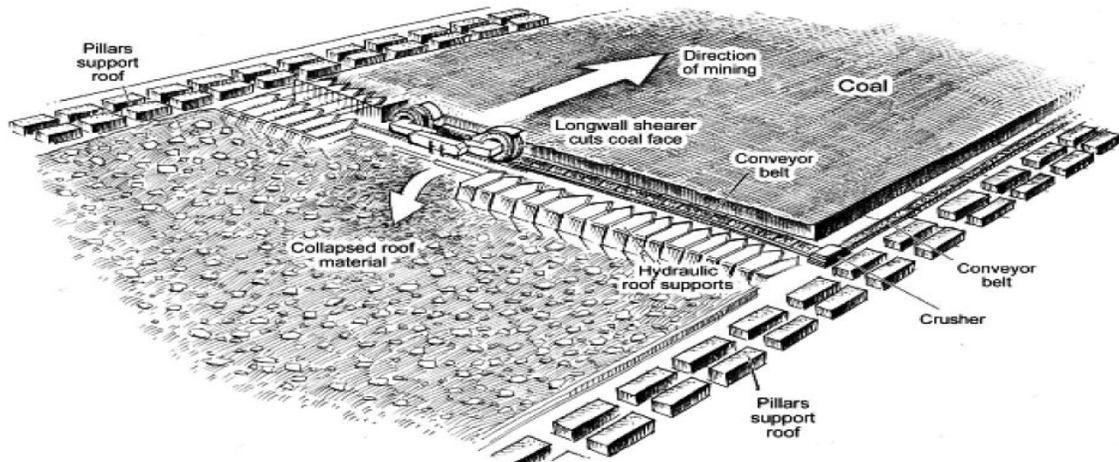
**Figura 15:** Método cuartos y Pilares (*Tomada de Coal Mining Methods, EMFI*)

Es un proceso que mantiene un ritmo de producción constante, sin embargo ocupa de muchos trabajadores lo que provoca una práctica de supervisión en seguridad más eficiente,

es un método que requiere mucha organización, el ciclo no se detiene y mientras exista un cuarto de producción al mismo tiempo se está haciendo explotar otra zona para poder generar otro cuarto, requiere además de movimiento de muchos equipos.

*Frente Larga:*

Este método consiste en obtener el mineral desgastando la formación donde se encuentra el carbón, creando una pared de avance, en la que se hace pasar una trituradora y mediante la fricción se obtiene el recurso, la producción con este método es continua y muestra la ventaja que se necesitan pocos trabajadores para mantener este proceso, sumado a esto mantiene a los trabajadores y a los equipos concentrados en una sola sección lo que hace sea fácil de manejar (EMFI Summary).(Figura 16).



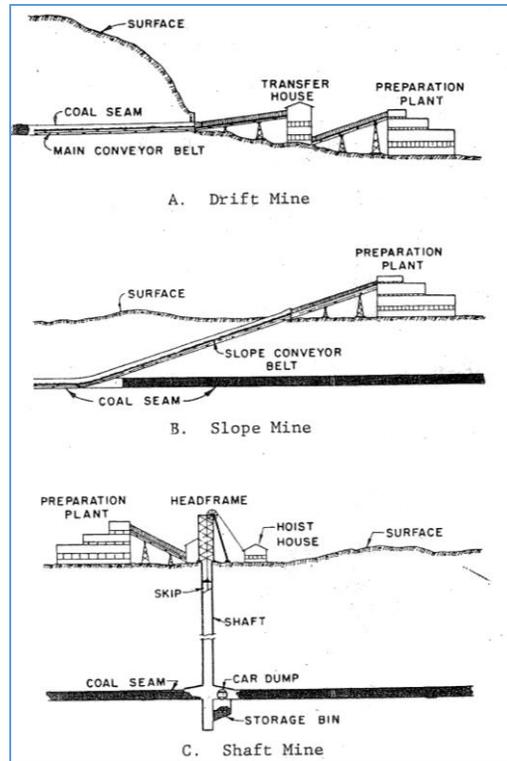
**Figura. 16:** Método de Frente Larga (Tomada de Coal Mining Methods, EMFI)

Al tener una máquina que opera de forma continua es importante mantenerla en buen estado, para esto se requiere que cada uno de los sistemas que forman este tipo de extracción estén sincronizados, lo que hace muy complejo su mantenimiento y de difícil sustitución de cada sistema.

*Selección del portal:*

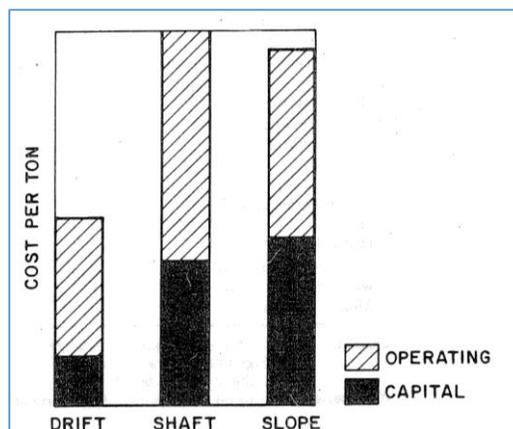
La selección involucra muchos factores, accesos, ventilación, acarreo o transporte y tiempo de explotación de la mina.

Los portales son de 3 tipos: De eje, de deriva y cuesta abajo, como se ve en la figura 17.



**Figura 17:** Portales (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

La selección de cada uno de estos tipos de portales radica en que para el tipo de deriva solo están limitado a aquellas minas donde el carbón aflora a un solo nivel de explotación, si se requiere un minado más profundo posterior, este tipo de portal empieza a ser menos óptimo. Los otros casos son para minas más profundas y donde existen varios niveles de extracción, la desventaja en estos es que son más caros. En la siguiente gráfica (figura 18) se muestra un comparativo operacional y capital de cada uno de estos métodos.



**Figura 18:** Comparativo operacional de Portales (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

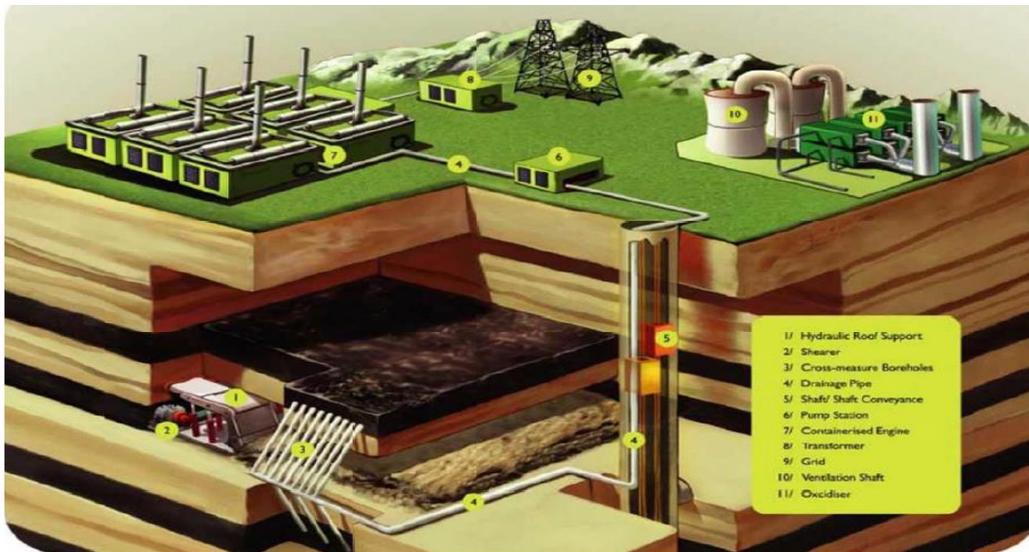
## 2.2.4 Desarrollo.

En esta etapa, ya que se obtienen los permisos para hacer uso de la tierra que contiene los recursos a explotar, se genera todo el desarrollo que de la mano de la extracción le dará forma al proyecto, es decir se generan los caminos, se hace el estudio de impacto al medio ambiente así como la repercusión del método de extracción.

Además se genera el estudio para la ventilación, el drenaje del gas y el uso que se le puede dar al gas generado del carbón.

### *Recolección de Gas:*

En la siguiente figura se muestra un esquema de las instalaciones subterráneas así como superficiales; se muestran todos los aspectos de la recolección y el proceso para utilizar el gas y convertirlo en energía eléctrica.

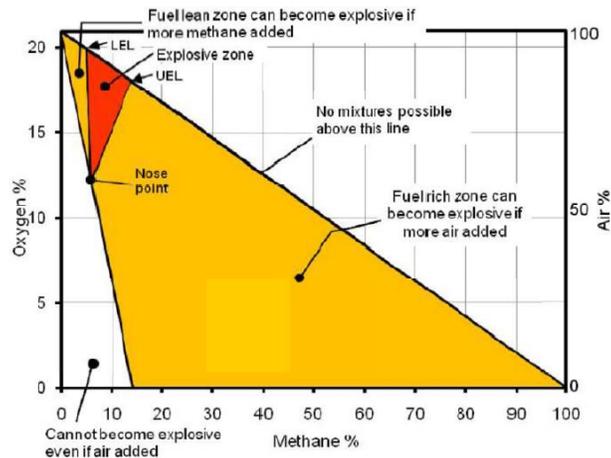


**Figura 19.** Instalaciones subterráneas de uso y recolección de gas (*Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010*)

Dentro de los proyectos de GMC existen diversas alternativas para el uso del gas, el más frecuente es el venteo y generación de energía:

### *Ventilación:*

El metano puede ser un gas explosivo si se mezcla con el aire; las concentraciones de metano varía entre 25-40% de concentración, si se genera una buena estrategia de ventilación se puede un accidente; dentro de este mismo tema, si existe una alta concentración de metano en comparación con el aire, estaríamos en la zona de interfase aire-metano, una situación de incendio en esta zona se puede controlar por métodos de extinción de incendios, por el contrario, si existe la concentración adecuada, el frente explosivo puede avanzar en ambas direcciones de la tubería, lo que pondría en gran riesgo el personal y el equipo dentro del área de la mina. (*Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010*)



**Tabla 3.** Porcentaje de mezclado del metano contra el oxígeno (Moreby, 2009).

El objetivo de una buena ventilación es diluir o eliminar gases peligrosos; controlar la humedad y la temperatura de la mina, así como proporcionar aire respirable dentro de la mina. (Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010).

A continuación mostraremos elementos de gran importancia para la ventilación de una mina:

Velocidad, Volumen y Porcentaje del Aire:

Dentro de la regulación norteamericana vigente, se requiere una velocidad mínima del aire de 18.2 m/min dentro de los lugares de trabajo y los niveles de polvo respirable no pueden exceder un promedio de 2 mg/m<sup>3</sup> por turno, medido en un instrumento colector estándar. Además el aire usado para ventilar cintas transportadoras no podrá utilizarse para ventilar áreas de trabajo, estas tendrán que descargarse en ventilaciones de retorno donde existirá una velocidad de 76.2 m/min.

Podemos dividir la ventilación de una mina en tres sistemas básicos:

Dispositivos de control: Estos mantienen el flujo de aire por los caminos y/o canales deseados.

Paradas (Stopings): Son muros que pueden construir de forma permanente (para permitir una regulación térmica y una ventilación especial de una zona) o temporal (cuando se sabe que el sentido del flujo de aire cambiara de dirección o cuando se sabe que será paso de trabajadores y maquinaria), cuyo objetivo es separar las rutas de toma de aire con las de entrada (Figura 20).



Figura 20: Ejemplo de un muro tipo stopings (Foto)

Puentes de Aire (Overcasts): Son puentes para el aire que permiten que las vías de aire de entrada y de retorno se crucen entre sí sin mezclarse (Figura 21).

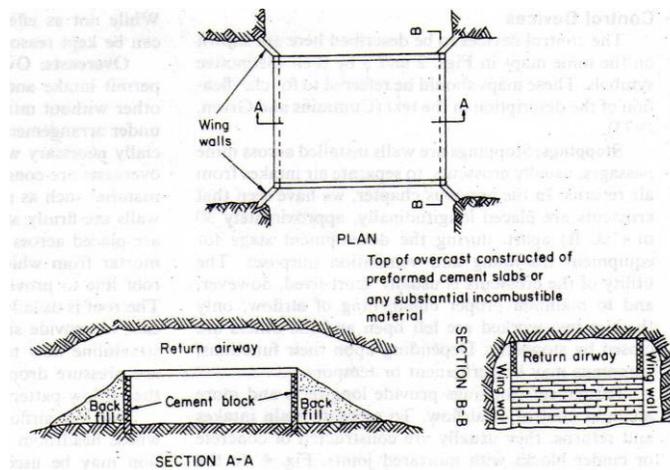


Figura 21: Overcasts (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)

Reguladores: La diferencia de las paradas (stopings) con los reguladores es que estos últimos tienen una puerta corrediza, los reguladores también son obstrucciones al flujo de aire dentro de una zona, la puerta corrediza le da la capacidad de variar esta obstrucción (Figura 22).

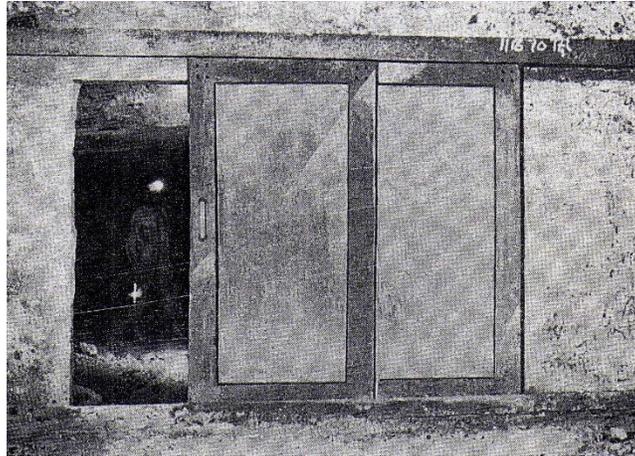


Figura 22: Regulador de puerta corrediza en una mina (Foto).

El sistema de distribución primaria: Que consta de las tomas y devoluciones principales de aire incluyendo los ventiladores.

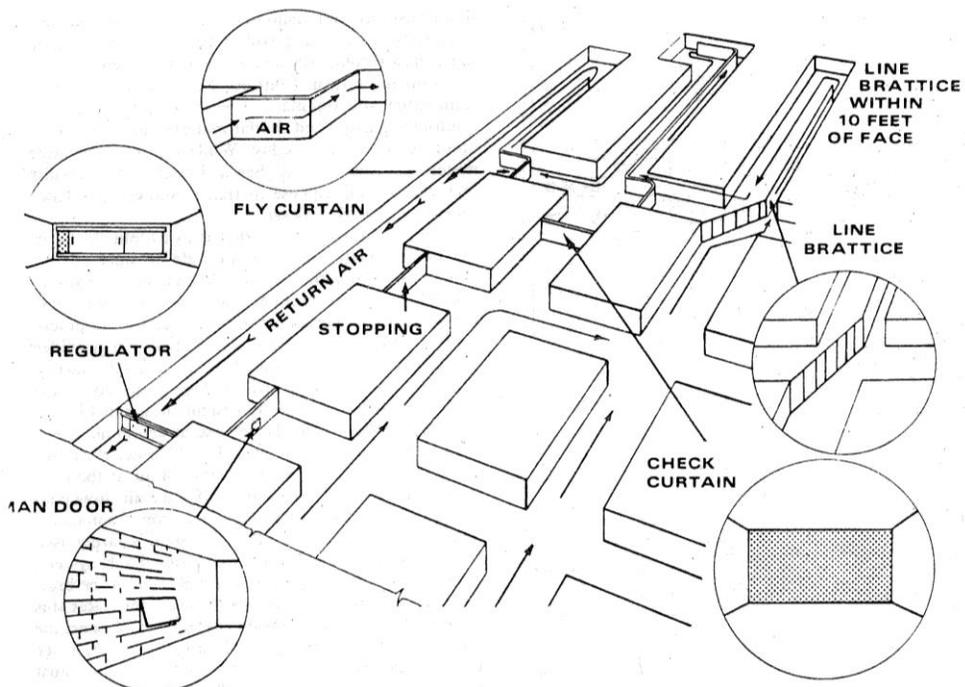
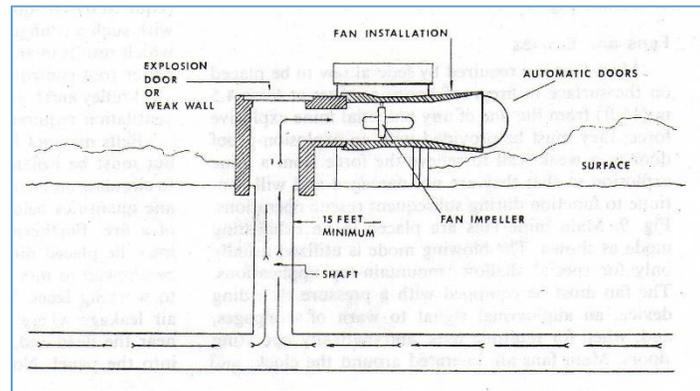


Figura 23: Sistema de distribución de aire dentro de una mina. (Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology)

### Ventiladores Externos

Por normativa federal en Estados Unidos, se ha pedido la instalación de ventiladores para ser colocado en la superficie en una carcasa ignífuga, y que tenga la capacidad de desplazar al menos 4,5 m de aire en la línea de cualquier posible fuerza explosiva de la mina. El modo de soplado solo es utilizado en superficie y solo en aplicaciones de montaña.



**Figura 24:** Esquema de un ventilador principal de superficie (*Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology*)



**Figura 25.** Ventilador de una mina de carbón (Foto)

#### *Monitoreo de la Ventilación:*

El monitoreo se puede hacer de dos formas, mediante transductores fijos de velocidad y dispositivos calibradores de mano.

La precisión está en función de varios factores (Sean, Plasynski; 2008):

- La localización de los equipos
- La calibración adecuada
- El área de sección transversal de los pasillos
- La distribución y la intensidad del flujo del aire

La posición no debe ser cerca de dispositivos que puedan alterar la velocidad del aire.

Otros dispositivos útiles en cualquier región de la mina son los anemómetros de paletas, estos dispositivos funcionan para poder calcular en tiempo real la velocidad de circulación de un gas.



**Figura 26.** Anemómetros de paletas portátil (Catalogo TPM Equipos)

#### *Venteo:*

El venteo es una medida de seguridad de manejo del gas liberado contenido en las vetas de carbón y está muy asociado a la ventilación, ya que muchas minas en el parte final de la ventilación, que es el desalojo del gas de la mina, se efectúa al medio ambiente.

Esta es una medida que afecta sin duda al medio ambiente, pero la única forma de hacer frente a la poca información o a la falta de recursos económicos para hacer uso de ese gas, es el venteo; en el caso de la minería a cielo abierto la concentración de gas venteado es mínima y no hay ninguna medición del mismo ya que no existen sistemas de ventilación en la minería a cielo abierto.

Existen diversas reglamentaciones para poder hacer uso de esta técnica, algunos países han limitado el volumen de gas venteado, manteniendo estrictas supervisiones y sanciones económicas, pero aun así existe en el desarrollo de la gran minería volúmenes de gas que sobrepasan incluso estándares internacionales como los son el Protocolo Kioto, es por eso que también se ha hecho uso de los bonos de carbono; Los bonos que consisten en acreditar de forma económica la reducción de gas en otro sitio como si fuera el propio, generando ventajas ambientales y económicas, considerando que hay países que tienen que disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero de manera obligatoria.

#### *Manejo del Gas:*

La cantidad de gas liberado tiene que ver con varios factores, además el volumen producido va aumentando conforme la extracción de la mina avanza.

En algunos casos, el gas es liberado del carbón debido a las propias actividades mineras en forma de emisiones repentinas y en ocasiones violenta.

Es importante puntualizar que dentro de la extracción de la mina, el metano no solo es el gas que se hace presente, el dióxido de carbono también se puede manifestar, es por ello que la actividad de drenaje es importante como se menciona a continuación:

### *Drenaje del Metano:*

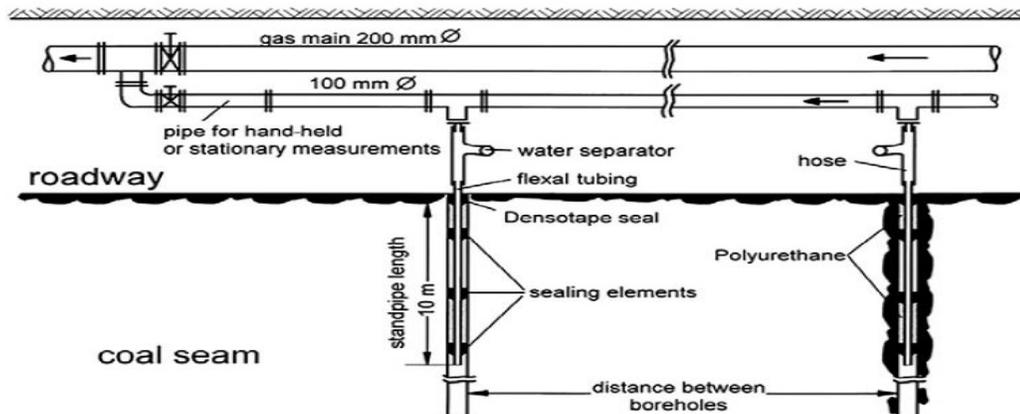
En muchos casos las operaciones de las minas se ven interrumpidas debido a que el volumen de gases está en niveles peligrosos, es por ello que se requiere un drenaje de estos gases para evitar que se concentren en un solo sitio.

Existen varios métodos de drenaje de gases, estos están agrupados en dos clases, la primera de estas es el PRE-DRENAJE y la segunda es el POS-DRENAJE, el pre-drenaje incluye todas las actividades y métodos asociados al drenaje antes de un proceso de extracción de la mina; el pos-drenaje se refiere a todas aquellas actividades de drenaje de gases liberados por las actividades de extracción de la mina, con estos métodos se puede obtener entre un 50% al 80%. (Ozgen Karacan, Felicia A. Ruiz, 2011).

### *Pre-Drenaje:*

Ya que el pre-drenaje permite trabajar con el manto de carbón directamente, generando información para establecer un equipo adecuado para la extracción de la mina posteriormente, la perforación de pozos es uno de los métodos más utilizados para desarrollar las técnicas de pre-drenaje, a 100 y 200 m por lo regular se encuentran los mantos de carbón.

En esta etapa se consideran opciones para aumentar la producción, una de esas opciones es el fracturamiento para mantos de baja permeabilidad.



**Figura 27.** Esquema de Pre-Drenaje (Noack, 1988)

### *Pos-Drenaje:*

En muchos casos la permeabilidad es tan baja que el flujo de gas no se puede realizar de forma natural, requiere de técnicas para aumentar la permeabilidad, estas incluyen perforación de pozos y fracturamiento, además de que durante el desarrollo de la extracción minera el gas también se va liberando.

El pos drenaje existe también de manera preventiva dentro de los frentes de caída, es decir en la zonas de derrumbe donde ya no va existir un proceso de extracción es necesario también que exista un drenaje del gas como medida preventiva, este drenaje es conocido

como drenaje mediante pozos Gob, que tiene por objetivo el drene del gas en la zonas de caída ya no explotables. (Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010).

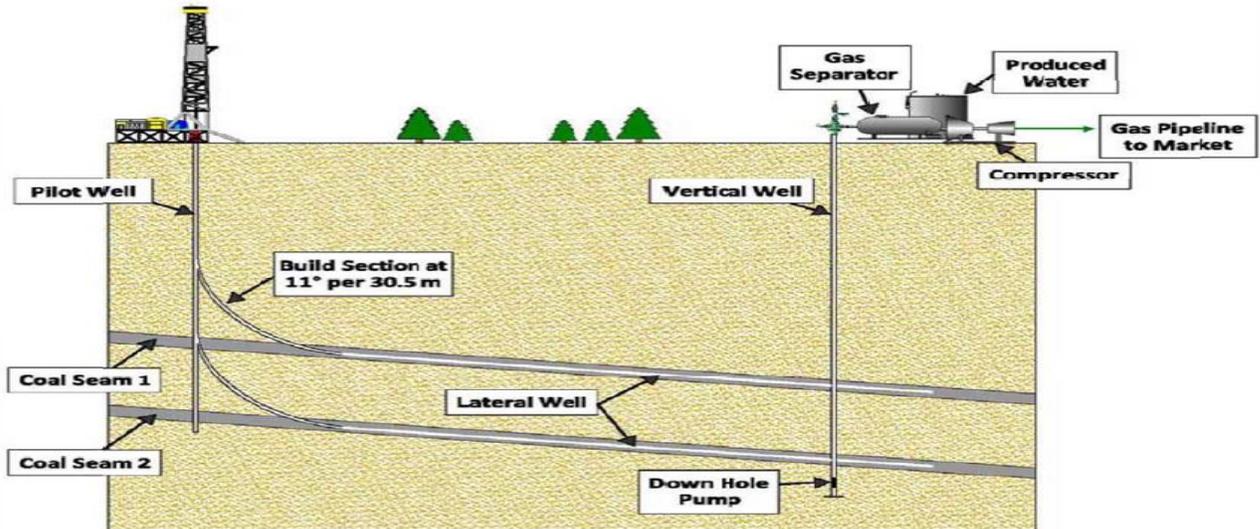


Figura 28. Esquema de Pos-Drenaje (Best Practice Guide Meth Drain, Naciones Unidas, 2010).

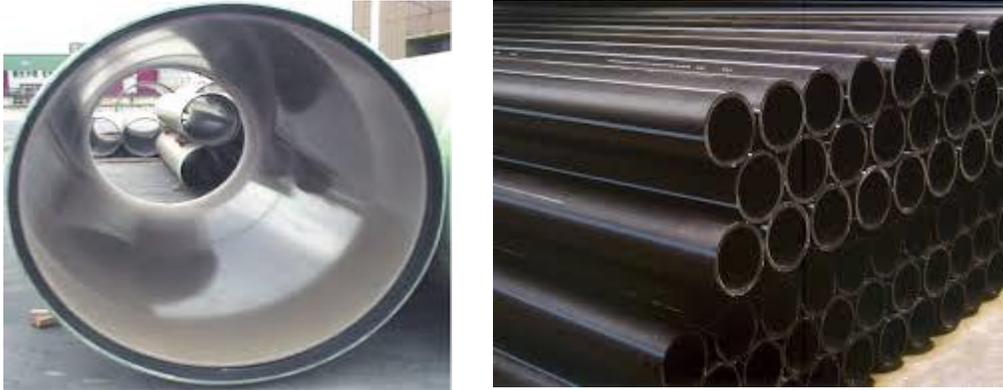


Figura 29. Pozos Gob (Imagen tomada de video demostrativo)

Los parámetros que se deberán analizar antes de una estrategia de pos-drenaje incluyen la eficiencia del drenaje, el minado y las condiciones geológicas además de que siempre se debe permanecer en el marco normativo y dentro de los límites económicos.

#### Infraestructura del Drenaje de Metano:

Los materiales adecuados para estos trabajos son las tuberías de acero, de plástico reforzado con vidrio (GRP) y Polietileno (PE), las tuberías GRP son de fácil manejo e instalación, son sugeridas para las principales líneas troncales, aunque son frágiles y esto hace que sean malas dentro de la zona de producción ya que se exponen a derrumbes y a mucho movimiento de maquinaria. Cuando la línea se ve expuesta a daños físicos y el espacio es reducido las tuberías de acero son una excelente opción, algunos países utilizan las tuberías de PE para sus proceso, aunque esto no es totalmente seguro ya que la exposición al calor es un factor que afecta su rendimiento además de que existe el riesgo de descarga estática. (Coal Mine Methane Recovery, A primer, 2009).



**Figura 30.** Tubos de plástico reforzado con vidrio (Derecha) y tubos de polietileno (Izquierda) (Foto).

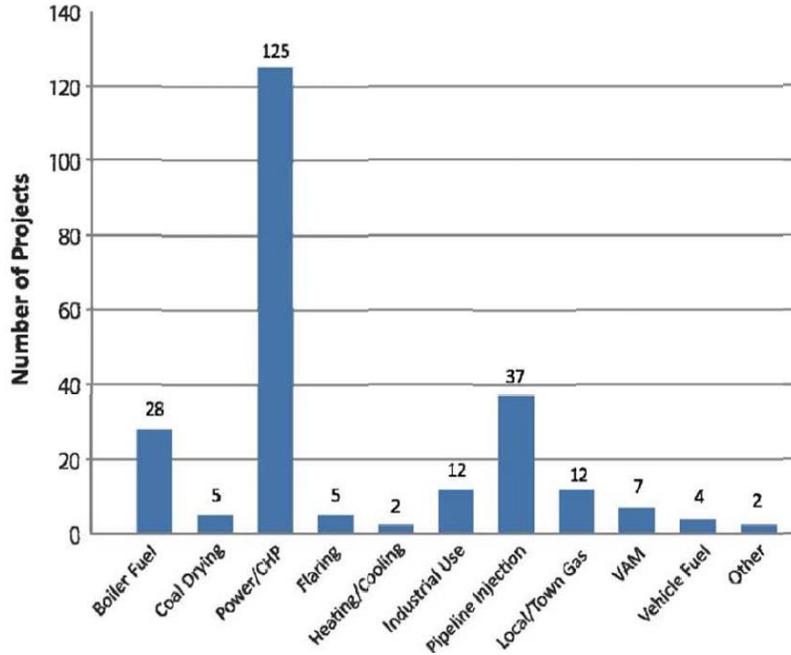
### 2.3 Uso del Metano.

El metano es el gas que propicia el efecto invernadero de más impacto, esto es 20 veces más fuerte que el dióxido de carbono, (Coalbed Methane: Best Practices for British Columbia, Dogwood Initiative, 2009) de este modo el aprovechamiento del gas dentro de un desarrollo de GMC es un panorama que ofrece muchas áreas de oportunidad, que bajo la tecnología correspondiente se puede disminuir el venteo y evitar daños ambientales con la ventaja de que el gas puede proporcionar energía mediante las instalaciones adecuadas.

#### *Opciones en el uso del Metano:*

El desarrollo de una estrategia de aprovechamiento de gas le otorga un valor añadido al desarrollo minero, puede otorgar en corto plazo la reducción de costos en el tema de energía, además existe la opción de comercializar el gas, generando ingresos adicionales, esto sin duda reducirá la quema y la disolución del gas con el aire de ventilación y liberado en forma de Metano de baja concentración.

Existen dentro del mercado diferentes tipos de proyectos para uso de gas proveniente del gas de metano, en la gráfica siguiente se puede observar la diversificación y la cantidad de proyectos, donde sobresale generación de energía.



**Tabla 4.** Número y tipo de proyectos (Coalbed Methane: Best Practices for British Columbia, 2009)

Dentro de los usos del metano más comunes dentro de la industria minera tenemos los siguientes casos mencionados en la siguiente tabla:

Usos del Metano
Quema
Venteo
Generación de Energía

**Tabla 5.** Usos más comunes del metano en la industria minera

### 2.3.1 Quema.

Dentro de la estrategia del desarrollo de la mina, existe siempre la integración de un quemador, esto es por cuestiones de seguridad, ya que si la producción de gas aumenta de forma repentina es necesario evitar el almacenamiento y así disminuir el riesgo de explosión. Además la quema es también para el manejo de aquellos gases que contengan componentes combustibles.

Es una forma rápida de deshacerse de gases nocivos, combustibles y peligrosos dentro de la mina.

Existen aquellos mecheros a llama abierta u oculta, esta última es la instalación subterránea del quemador, que garantiza una eficiencia de quemado entre 98 y 99 %, puede realizar un mejor monitoreo y uso de los residuos.

Los quemadores a cielo abierto tienden a disminuir su efectividad cuando se encuentran en condiciones de mucho aire y de humedad (Universidad de Alberta, 2004), el monitoreo no es muy preciso y los desechos de la quema simplemente son expuestos al medio ambiente, tales como dióxido de carbono.

### 2.3.2. Generación de Energía.

En la generación de energía dentro de la mina se pueden emplear las siguientes tecnologías:

<b>Generación de Energía mediante:</b>
<b>Turbinas o Motores Térmicos</b>
<b>Turbina de Gas Carburado</b>
<b>Turbinas catalíticas de gas pobre</b>
<b>Turbina híbrida de carbón y gas de ventilación</b>
<b>Oxidación Térmica</b>

**Tabla 6.** Usos del Metano (Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, 2014)

#### *Turbinas y Motores Térmicos:*

Estos dispositivos pueden ser de gran utilidad ya que se puede aprovechar la combustión del gas para poder generar electricidad o vapor, estos dispositivos pueden operar con porcentajes mínimos de metano, estos rangos pueden ser de hasta 1% de concentración de metano, lo cual abre una ventana de posibilidades para la industria; incluso se están desarrollando sistemas para poder trabajar con gas de ventilación.

#### *Turbina de Gas Carburado:*

En este tipo de turbina el gas es mezclado con aire en determinada concentración, además de que se requiere un 1.6% adicional de combustible; esta turbina tiene la ventaja de no generar al final del proceso óxidos de nitrógeno, ya que el combustor es externo a la turbina que se encuentra a una temperatura menor.

#### *Turbinas Catalíticas de Gas Pobre:*

Estas turbinas tienen en su proceso la ventaja de un catalizador que permite una combustión a una menor temperatura, además de que éstas pueden operar con un 1% de metano, aunque todavía son tecnologías que se están probando, se espera una entrada al mercado en los próximos años.

#### *Turbina Híbrida de Carbón y Gas de Ventilación:*

Esta turbina puede generar energía eléctrica a partir de del gas de ventilación, además de que se tiene que hacer del carbón residual; ambos combustibles se queman en un horno rotatorio, capturándose la energía en un cambiador de calor, el aire limpio y caliente que se obtiene posteriormente alimenta una turbina de gas. (CSIRO)

Este tipo de tecnologías es una oportunidad para aquellas mineras que generan mucho carbón residual.

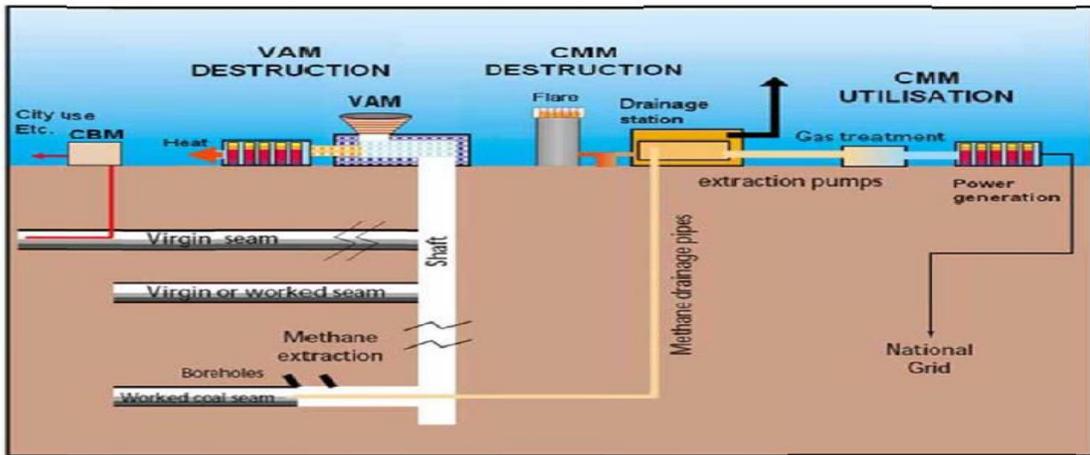
#### *Oxidación Térmica:*

Consiste en la combustión de una mezcla formada por aire, oxígeno con el hidrocarburo; está formado por una cámara donde se realiza la combustión, en algunos casos para

aumentar la eficiencia se podría requerir combustible adicional o precalentar el ducto de alimentación a la cámara.

La eficiencia de este proceso depende en gran medida de factores tales como el tiempo de residencia dentro de la cámara, la temperatura, la turbulencia y la disponibilidad de oxígeno. (Fernández García Javier, Combustión Catalítica de Gases<sup>o</sup> de Venteo de Minas de Carbón en Reactores de Flujo Inverso, Universidad de Oviedo, 2014)

En el siguiente esquema se muestra las instalaciones para los diferentes tipos de uso:



**Figura 31.** Esquema de las instalaciones para uso de gas (Gas de Metano: Oportunidades de Recuperación y Utilización, GMI)

#### 2.4. Recuperación de Zona.

Esta etapa final corresponde, como dice su nombre a la recuperación de las zonas afectadas debido a la extracción; las actividades correspondientes a esta etapa final se indican en la tabla 7.



**Figura 32.** Ejemplo de reforestación sobre un camino generado por la industria minera.

### Reforestación

**Esto ayuda a que las actividades ganaderas y que la calidad del agua tenga los niveles aceptables**

### Responsabilidades

Una vez acabadas las actividades mineras es importante acercarse con la gente nativa de la zona para llegar a acuerdos que sean convenientes para todos, y en su defecto asignar responsabilidades para dar seguimiento a lo acordado así como asignar responsabilidad en caso de algún siniestro.

### Monitoreo

Si bien es cierto la recuperación de la zona se considera una etapa final, esto no significa que se deje al último, de echo las mejores prácticas para el desarrollo de una mina sustentable, afirman que el mejor momento para iniciar la recuperación de la zona es en cuanto se inicie la extracción de la misma, es decir, el monitoreo del agua, la flora y la fauna nativa deben pertenecer al presupuesto inicial del proyecto y deben estar monitoreadas desde el inicio.

### Sinergia

Es importante trabajar de la mano de especialistas y conocedores de la zona, así como con el gobierno local, para trabajar en forma conjunta y en beneficio de todos.

**Tabla 7.** Actividades correspondientes a recuperación de zona

### 3. Desarrollo de Campos de Gas Asociado a los Mantos de Carbón (GAMC).

#### 3.1. ¿Qué es el GAMC?

El Gas Asociado a los Mantos de Carbón en adelante GAMC o también conocido y llamado Coalbed Methane (CBM por sus siglas en inglés), es gas natural que se almacena (adsorbido) en los mantos de carbón cuya calidad no requiere un procesamiento antes de comercializarlos. Se puede decir que el GAMC es una mezcla de Gases principalmente Metano (>92%), etano, propano, dióxido de carbono, nitrógeno y agua (Melegy and Salman, 2009), que en muchos casos puede capturarse, acondicionarse, comprimirse e inyectarse directamente a gasoductos. La presencia de metano es bien conocido por su aparición en la industria de la minería del carbón, en particular la minería subterránea donde puede presentar serios riesgos de seguridad. De hecho, la producción de GAMC comenzó como una tecnología para mejorar la seguridad y la productividad de la minería subterránea de carbón y la prevención de explosiones. No sólo proporcionan el mismo servicio ahora, sino que también disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero de las minas de carbón y disminuye la contaminación del aire porque es un combustible limpio.

Químicamente, el GAMC es similar a otras fuentes de gas natural (aproximadamente el 95% de metano puro) y se puede vender en cualquier mercado. El GAMC es un "gas dulce", ya que generalmente no contiene sulfuro de hidrógeno y se considera que es más ecológico que el petróleo, el carbón o incluso el gas natural convencional. El GAMC contiene muy pocos hidrocarburos más pesados, tales como propano o butano, y sin condensado de gas natural que se encuentra a menudo en el gas natural convencional.

Composición típica del GAMC	
Componente	%
$CH_4$	94.50
$N_2$	2.00
$CO_2$	1.00
$C_2H_6$	0.30
$C_3H_8$	0.20
Vapor de agua	2.00
	100.00

**Tabla 8.** Composición típica del GAMC. Fuente: SPE International, coalbed methane (CBM), MFG Oil & Gas S.A. Buenos Aires 28 de junio de 2008).

El GAMC es distinto al gas convencional dado que se almacena en el carbón por un proceso llamado adsorción, se encuentra en fase cercana a los líquidos, impregnando la superficie y ocupando el interior de los poros de carbón (matriz). Se moviliza a través de las fracturas

abiertas en el carbón (diaclasas) las cuales pueden contener gas libre o estar saturadas con agua.

El GAMC se puede obtener naturalmente de las minas, por: liberación durante las actividades, circulación por la ventilación o extracción de pozos. Cabe señalar que no todos los tipos de carbón son aptos para la producción de metano, ejemplo:

- Lignito por bajo contenido de metano.
- Antracita alto contenido de gas, pero de la alta densidad y muy baja permeabilidad.
- El más favorable para la producción de metano, es el que cae entre el lignito y la antracita.

### **3.2. Exploración.**

Técnicas comunes para explorar los recursos convencionales y no convencionales (sísmica, recorte de rocas, núcleos y registros geofísicos), integran y aportan la información necesaria para elaborar los mapas y modelos de las zonas de interés, su caracterización de fracturas que dan soporte para generar los modelos de yacimientos de carbón, mismos con los que podrán definirse las estrategias de extracción.

#### **3.2.1. Construcción del pozo.**

La perforación de pozos de GAMC requiere la atención de los datos generados de la evaluación de muestras o núcleos. La perforación bajo balance se prefiere ya que el daño es mínimo. El término *bajo balance* describe la condición cuando hay más presión en la formación "empujando hacia arriba" que hay en el pozo "empujando hacia abajo." En las cuencas con mucha presión, el uso de líquidos con algunos sólidos y aire puede ser necesario para mantener la contrapresión y controlar afluencia de fluido.

Las pruebas de permeabilidad determinarán el espaciamiento de los pozos y si un operador o no necesita considerar la perforación horizontal. Los carbones de baja permeabilidad con 3 pies de espesor o más, son candidatos para la perforación horizontal. De las técnicas de perforación horizontal en yacimientos no convencionales que han sido probadas. Las perforaciones multilaterales con dos pozos han demostrado tener éxito para los operadores (Schoenfeldt, et.al 2004).

### **3.3. Extracción.**

#### **3.3.1. Perforación y terminación de pozos de GAMC.**

El proceso de perforación y terminación de pozos de GAMC es similar a los pozos en yacimientos convencionales. Sin embargo, puede plantear problemas especiales.

El primer paso en la creación de un programa de perforación de un pozo de GAMC, implica reunir información acerca de los pozos existentes en un área determinada. Estos datos incluyen:

- Profundidades y presiones del yacimiento
- Histórico de perforación

- Consideraciones ambientales

Las fuentes de esta información incluyen:

- Agencias regulatorias
- Las empresas de servicios
- Operadores de minas de carbón
- La literatura publicada

Un aspecto importante en la perforación de pozos de GAMC, es mantener los procedimientos de perforación relativamente simples. Por ejemplo, los fluidos de perforación base agua, pueden ser más perjudiciales para los carbones que la perforación de aire o gas, pero son más seguros en caso de golpes de gas y el daño puede ser mitigado por la estimulación de la fractura.

Los pozos de GAMC varían en profundidad, desde unos cientos de metros a más de 3000 m. Como resultado, varios tipos de plataformas y tamaños pueden ser adecuados para un plan bien determinado. El aparejo más común, es la plataforma de perforación rotatoria convencional, aunque las plataformas de pozos de agua modificados comúnmente se utilizan para perforar pozos poco profundos de carbón en lugares como la cuenca del Powder River de Wyoming. Otros tipos de plataformas incluyen:

- Equipos top-drive
- Equipos de minería
- Unidades de perforación con tubería flexible.

### **La evolución del GAMC.**

Se ha logrado un progreso considerable en los últimos 25 años en perfeccionar las técnicas para extraer el GAMC sobre una base comercial, allanando el camino para la producción en una escala significativa, inicialmente en América del Norte y, desde mediados de la década de 1990, en Australia. El GAMC puede ser producido de pozos verticales u horizontales. Este último, se ha vuelto cada vez más común, aunque menos para el *shale gas*. En general, cuanto más delgada la capa de carbón y la mayor profundidad del yacimiento, la tendencia es el pozo horizontal. Aunque una profundidad de 800 a 1 200 metros es típico, en algunos casos el GAMC se encuentra en formaciones superficiales tan poco como 100 metros por debajo de la superficie, por lo que es más económico para perforar una serie de pozos verticales, en lugar de un pozo horizontal extendido para llegar a lo largo del manto de carbón. Para los yacimientos superficiales, se pueden perforar pozos con equipos de perforación de pozos de agua, en lugar equipos diseñados para la extracción de hidrocarburos convencionales, con costes más baratos (US EPA, 2010). Para formaciones más profundas (400 a 200 metros), se utilizan ambos, pozos verticales y horizontales, así como peras de perforación.

Una vez que se perfora un pozo, el agua en la capa de carbón se extrae, ya sea bajo presión natural o mediante el uso de equipos de bombeo mecánico, un proceso conocido como extracción de agua (el uso de ésta y los riesgos de contaminación se discuten con más detalle en la siguiente sección). A medida que la presión en el yacimiento disminuye por la extracción de agua, el flujo de gas natural aumenta, ya que se libera de las fracturas naturales o en las diaclasas dentro de la capa de carbón. El gas se separa del agua en la superficie y luego se comprime y se inyecta en una tubería de gas de recopilación para su posterior transporte.

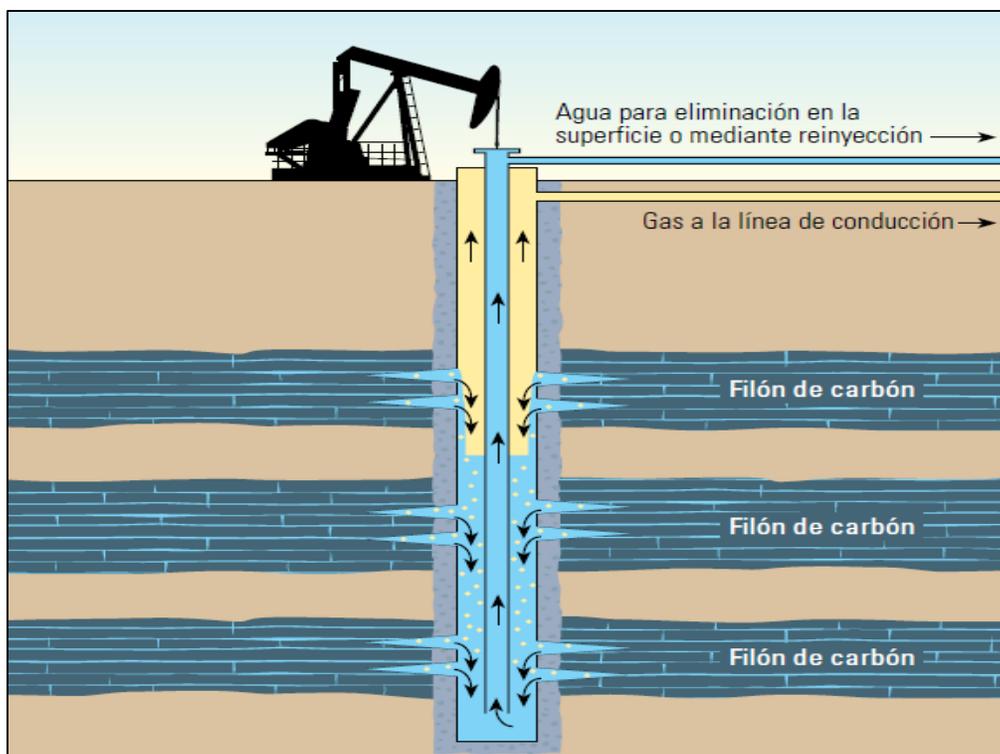
Como en el caso del *shale gas*, el volumen de producción de metano en mantos de carbón es a menudo significativamente más bajo que la que se consigue en yacimientos de gas convencionales; también tiende a alcanzar un pico de forma rápida ya que el agua se extrae, antes de entrar en un período de declinación. La vida típica de un pozo es de entre cinco y quince años, con la producción de gas máxima alcanzada después de uno a seis meses de drenaje de agua (Horsley y Witten, 2001). En la mayoría de los casos, la baja permeabilidad natural del manto de carbón significa que el gas puede fluir en el pozo de sólo un pequeño segmento del manto de carbón. Como resultado, se requiere un número relativamente grande de los pozos sobre el área, especialmente si son perforados verticalmente.

En algunos casos, también puede ser necesario el uso de fracturamiento hidráulico para aumentar la permeabilidad del manto de carbón con el fin de estimular la liberación de agua y gas. Lo anterior, con regularidad se aplica solo en los pozos más profundos, típicamente a varios cientos de metros por debajo del suelo. La decisión de proceder a la fracturamiento hidráulico se toma antes de que comience la perforación, ya que las instalaciones de superficie deben ser diseñadas en consecuencia.

### **3.3.2. Perforación de pozos de GAMC.**

#### **3.3.2.1. Pozos verticales.**

La mayoría de los pozos en yacimientos de gas asociado al carbón son verticales. Los métodos comúnmente utilizados para perforar pozos verticales en yacimientos de GAMC son perforación por percusión rotatoria y la perforación rotatoria convencional. La dureza de la formación determina el método de perforación a ser utilizado. Para formaciones suaves se utiliza el método rotatorio, mientras que para formaciones más duras, la perforación por percusión rotatoria es usada para un ritmo de penetración mayor. Los fluidos de perforación más utilizados en el carbón son aire/gas, lodo aireado y agua de formación. La selección del fluido depende de las propiedades del yacimiento de carbón. Para prevenir el daño a la formación por perforación, el carbón se perfora bajo balance. Esto impide que el fluido de perforación, los aditivos químicos, y los sólidos de perforación sean inyectados en el sistema de diaclasas del carbón y lo taponen. En el caso de los yacimientos con presiones anormales, un fluido de perforación base agua, levemente sobre balanceado, se utiliza para mantener el control de los pozos.



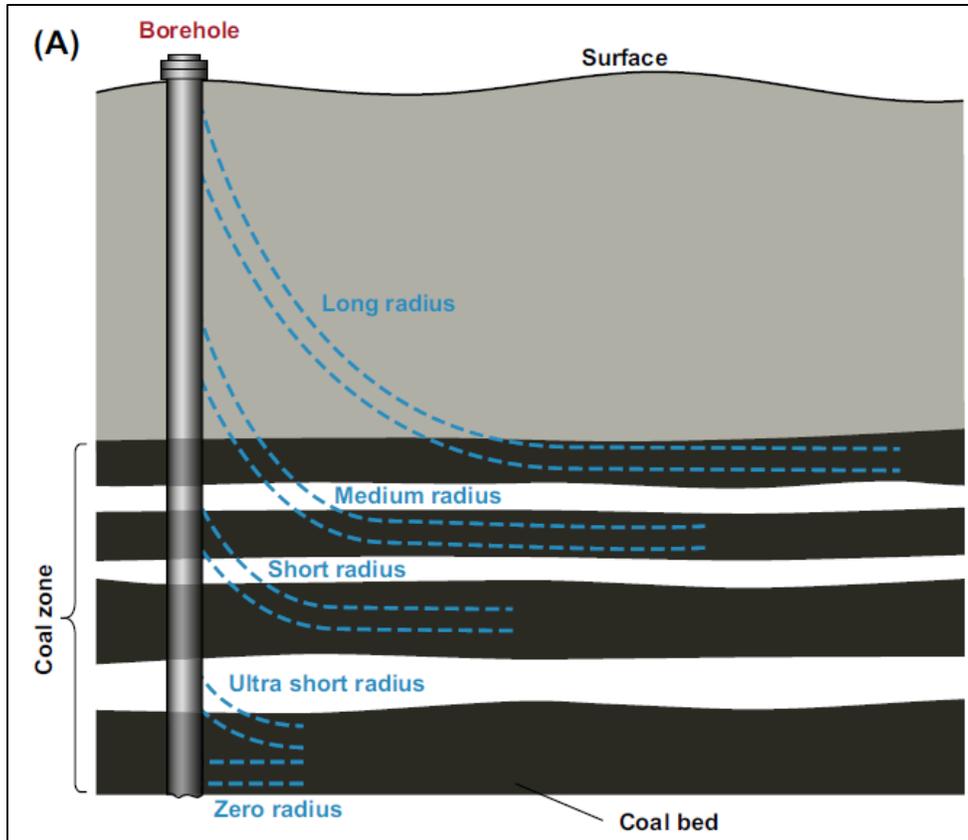
**Figura 33.** Esquema de un pozo típico CBM de una perforación vertical. (Fuente: Oilfield Review invierno2003/2004. Schlumberger, “Yacimientos de metano en mantos de carbón”).

### 3.3.2.2. Pozos horizontales.

La perforación horizontal es utilizada para aumentar la longitud de la zona productora contactada por el pozo. La perforación horizontal aumenta los gastos de producción y las recuperaciones finales esperadas. El equipo de perforación utilizado para la mayoría de los pozos horizontales se compone de una *barrena de perforación*, *motor de desplazamiento positivo* (PDM), *logging while drilling* (LWD), *measurement while drilling* (MWD), *drill collars no magnéticos*, *lateral push drill pipe* (LPDP), *heavy weight drill pipe* (HWDP) o *drill collars* (DC) usados para peso, y *drill pipe de superficie* (DPFS).

Los tipos de perforación horizontal son (figura 34):

- Radio largo (LRH)
- Radio medio (MRH)
- Radio corto (SRH)



**Figura 34.** Tipos de perforación horizontal. (Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

Los pozos horizontales tienen un *kick-off point* (KOP), una sección curva perforada direccionalmente hasta una inclinación en el rango de 70° a 110°, dependiendo del buzamiento del carbón y una sección lateral. La sección lateral es perforada mientras se cambia la profundidad vertical real (TVD) y la dirección del pozo ajustando la inclinación y el azimut, respectivamente. Varios tipos de pozos horizontales pueden ser perforados en yacimientos de GAMC. (Tabla 9).

Los perfiles MRH son generalmente el diseño preferido, con la excepción de huecos de menor tamaño y herramientas de perforación que pueden ajustarse a una curva SRH. Los diseños MRH cubren el rango más amplio de tasas de incremento de ángulo (6°/100' a 40°/100') y pueden ser perforados utilizando los tamaños de herramienta de perforación más comunes.

El diseño LRH no es adecuado para GAMC y muchas otras aplicaciones de perforación horizontal no convencionales, debido a que el KOP encima del TVD lateral deseado es de más de 950 pies. Esta excesiva distancia impacta la capacidad de producción del pozo y limita la longitud lateral que puede ser perforada debido a zonas geológicas adicionales expuestas en la curva. Además, la distancia extra en el tramo de incremento de ángulo del

pozo es mucho más larga. Esto incrementa la sección de fuerzas de alto contacto en el montaje de perforación.

Tipo de Horizontal	Identificador del Tipo de Horizontal	Tasa de Incremento de Ángulo	Radio del Pozo (Pies)	Diámetro del Pozo (pulgadas)
Radio Largo (Hasta 6°/100')	LRH2	2°/100	2865	8-1/2 6-1/2 4-3/4
	LRH4	4°/100	1432	
	LRH6	6°/100	955	
Radio Medio (Desde 7°/100' hasta 40°/100')	MRH8	8°/100	716	6-1/2 4-3/4
	MRH12	12°/100	477	
	MRH16	16°/100	358	4-3/4
	MRH20	20°/100	286	
	MRH25	25°/100	229	
	MRH30	30°/100	143	
	MRH35	35°/100	164	4-3/4
	MRH40	40°/100	143	
Radio Corto (40°/100' hasta 60°/100')	SRH45	45°/100	127	4-3/4
	SRH50	50°/100	115	
	SRH55	55°/100	104	
	SRH60	60°/100	95	

**Tabla 9.** Clasificación de los Pozos Horizontales y Especificaciones de Pozo. (Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

Los pozos Ultra SRH tienen tasas de construcción de la curva superiores a 60°/100' (radio menor de 95 pies), y no se utilizan para GAMC debido a la limitada sección lateral alcanzable. Los perfiles Ultra SRH son complejos y costosos de perforar, requiriendo equipo especializado.

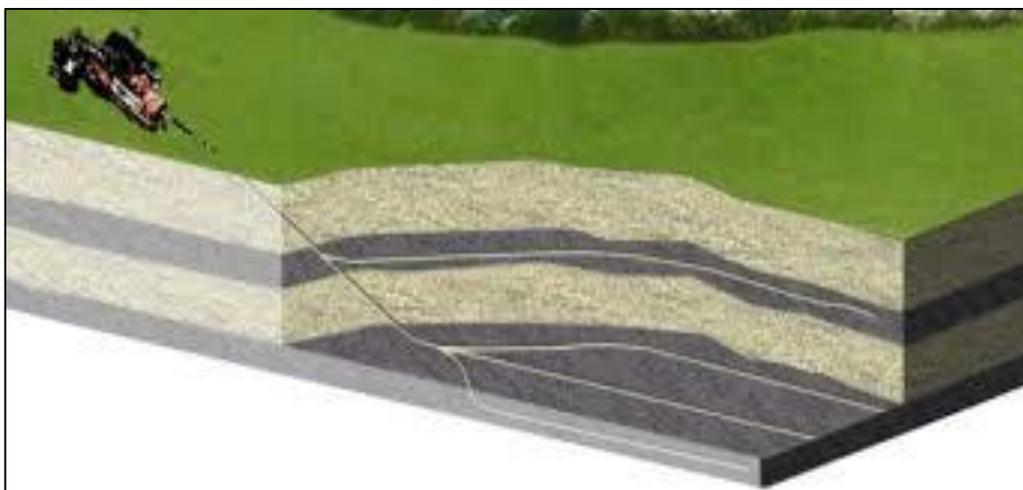
Los pozos horizontales (Figura 35) se perforan para maximizar el contacto del pozo con el yacimiento. Las alas de fracturamiento en pozos verticales en yacimientos de GAMC tienen longitudes medias de menos de 200 pies. La razón de estas longitudes cortas está asociada con la creación de complejas geometrías de fractura. Incrementar la longitud de la zona productora aumenta la producción y las reservas. Los pozos

horizontales contactan el sistema principal de fracturas del carbón, ya que se perforan perpendicularmente a la cara de las *face cleats* (diaclasas de frente). Esto incrementa significativamente la producción y la recuperación final de gas debido a la extensa área de drene conectada con el lateral.

En yacimientos convencionales, los pozos horizontales son comúnmente utilizados en formaciones que son más o menos planas, con espesores desde menos de un pie hasta decenas o cientos de pies. Sin embargo, en el GAMC, los pozos horizontales se perforan en mantos que van de 3 pies a unos 20 pies de espesor. En mantos de carbón de mayor espesor, los pozos horizontales no son eficaces, puesto que el pozo no es capaz de contactar con el yacimiento completo. Para aumentar la conectividad con el yacimiento, el pozo debe ser hidráulicamente fracturado, o más laterales deben ser perforados. Hasta la fecha, el fracturamiento hidráulico no ha sido muy exitoso en pozos horizontales en GAMC, porque los costos no se han justificado por el incremento limitado en la producción. Perforar pozos multilaterales aumenta los costos de perforación, y las posibilidades de que los pozos colapsen durante la perforación y producción son muy altas.

Las ventajas de los pozos horizontales sobre los pozos verticales estimulados con fracturamiento son:

- Pueden ser perforados hasta una longitud de 8000 pies, mientras que las longitudes efectivas de fractura en yacimientos de GAMC son usualmente de menos de 200 pies, de extremo a extremo.
- Pueden ser orientados en la dirección del máximo esfuerzo horizontal para interceptar la cara de las *face cleats*, para proporcionar la máxima estabilidad del pozo.
- Son mejores en yacimientos que tienen alta anisotropía de la permeabilidad.
- Pueden ser controlados de mejor manera para permanecer en el manto (para evitar zonas húmedas) de lo que pueden ser fracturas inducidas.
- Pueden proveer flujo de caja acelerado.
- Pueden ser expandidos a varias combinaciones (diseños *multilaterales* o *pinnate* y opciones de *fracturamiento múltiple*).



**Figura 35.** Perforación de Pozos Horizontales en Mantos de Carbón. Fuente: Target Drilling “Precision Drilling for Your Success” (2014) Recuperado de: <http://www.targetdrilling.com/surface-cbm.html>

### 3.3.2.3. Pozos Multilaterales.

Los pozos horizontales multilaterales (Figura 36) se perforan cuando la relación de la tasa de producción de gas en el pozo horizontal a la tasa de producción de gas en el pozo vertical es inferior a uno. En estos casos, el área total de contacto para un pozo vertical es mayor que la de un pozo horizontal simple. En los casos en que se debe acceder a un número de delgados mantos de carbón, los pozos con múltiples laterales proporcionarán una mayor producción que un pozo vertical.

Algunas desventajas de los pozos horizontales son el alto costo cuando hay muchos mantos que requieren perforar múltiples horizontales y las altas posibilidades de colapso horizontal durante la perforación y producción. Un *liner* es altamente recomendado para prevenir colapso de pozo. En la mayoría de los casos, se utiliza *liner* pre-perforado.

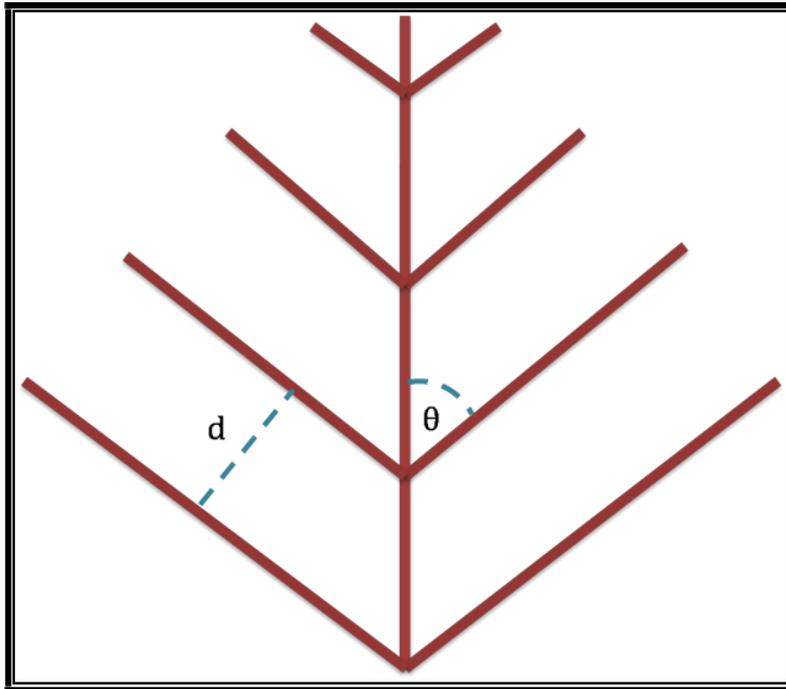


**Figura 36.** Pozos multilaterales. Fuente: Target Drilling “Precision Drilling for Your Success” (2014) Recuperado de: <http://www.targetdrilling.com/surface-cbm.html>

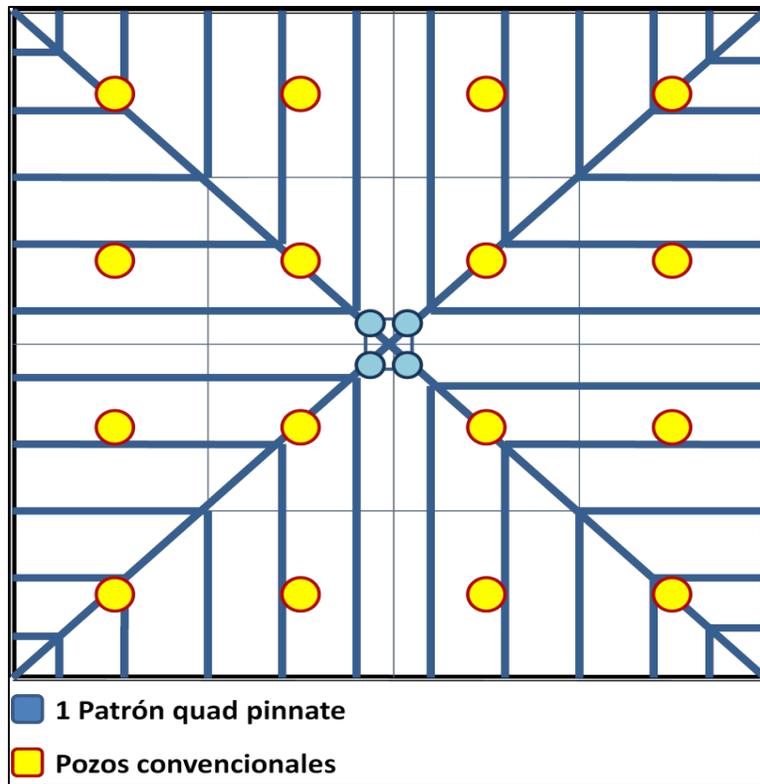
### 3.3.2.4. Pozos espina de pescado (*pinnate wells*)

En la tecnología *Pinnate*, en primer lugar se perfora un pozo vertical hasta el manto de carbón objetivo. Si existen otros mantos que se desean explotar, es posible extender el pozo vertical para penetrar los mantos adicionales.

Se crea una cavidad (ensanchamiento) en el pozo vertical a la profundidad de cada manto de carbón, para crear una cámara de acumulación o un depósito para la recolección de agua. Luego se perfora un pozo horizontal cercano y se direcciona para interceptar la cavidad horizontalmente, continuando entonces la penetración del manto lateralmente a una longitud de hasta una milla (Ghiselin, 2003). Desde este tramo lateral principal, se perforan brazos laterales horizontales hasta construir un patrón de drenaje casi cuadrado (Figura 37. *Single pinnate*). El sistema *pinnate* es la red de drenaje multilateral configurada en la forma de una hoja. Un *single pinnate* puede cubrir un área de 320 acres. Posteriormente se pueden perforar tres *single pinnate* adicionales a 90°, para cubrir un área de 1200 acres (Figura 38 *Quad Pinnate*).



**Figura 37.** Single Pinnate. (Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

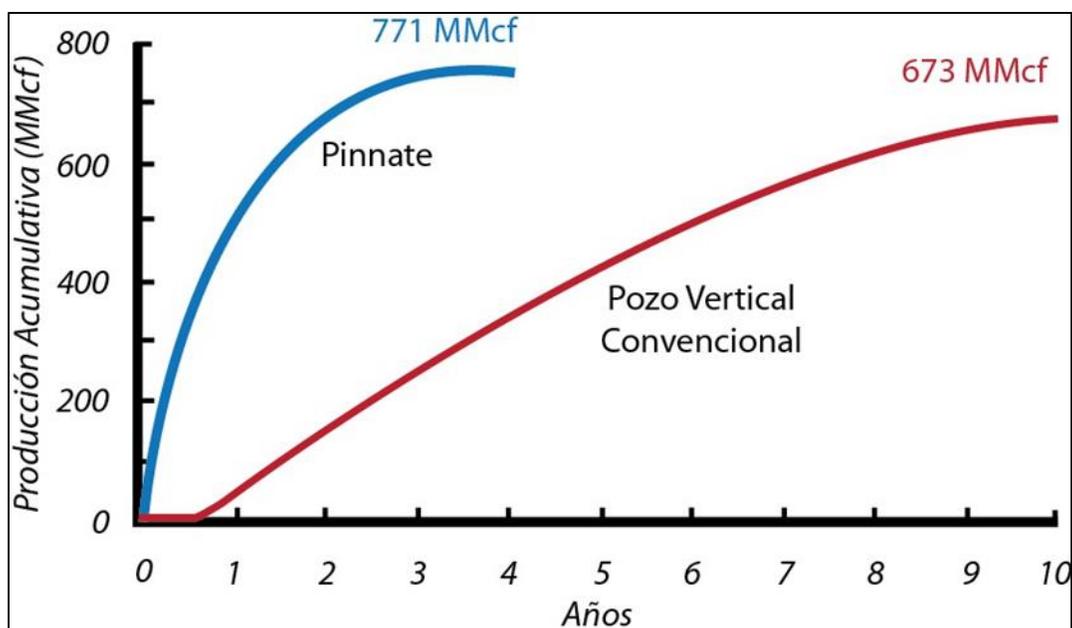


**Figura 38.** Quad Pinnate. Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

En el sistema de perforación pinnate de CDX (compañía que patentó la tecnología), la producción de gas se acelera y se incrementa la recuperación final en comparación con pozos terminados convencionalmente. La Figura 39 muestra las curvas de declinación para un pozo *pinnate* y un pozo vertical en la cuenca Central de los Apalaches. La curva de declinación para el pozo vertical (convencional) representa la producción total de 15 pozos perforados en un espaciamiento de 80 acres, necesarios para cubrir el área de 1200 acres.

Una característica inusual de la curva de declinación de un pozo pinnate, es la casi inmediata producción de gas. Esto elimina el típico proceso lento de extracción de agua de un pozo convencional de GAMC previo a la producción significativa de gas.

Además, la declinación es pronunciada; generalmente de 75 a 80 por ciento del gas recuperable se produce en solo dos o tres años. CDX reporta que con su sistema de perforación y terminación es posible controlar con precisión la dirección y longitud de los brazos laterales horizontales en el manto de carbón.



**Figura 39.** Comparación de la Producción de un Pozo Vertical y un Pozo Pinnate en la Cuenca Central de los Apalaches. (Fuente: RAMASWAMY, Sunil. Selection of Best Drilling, Completion, and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs. Texas A&M University, 2007).

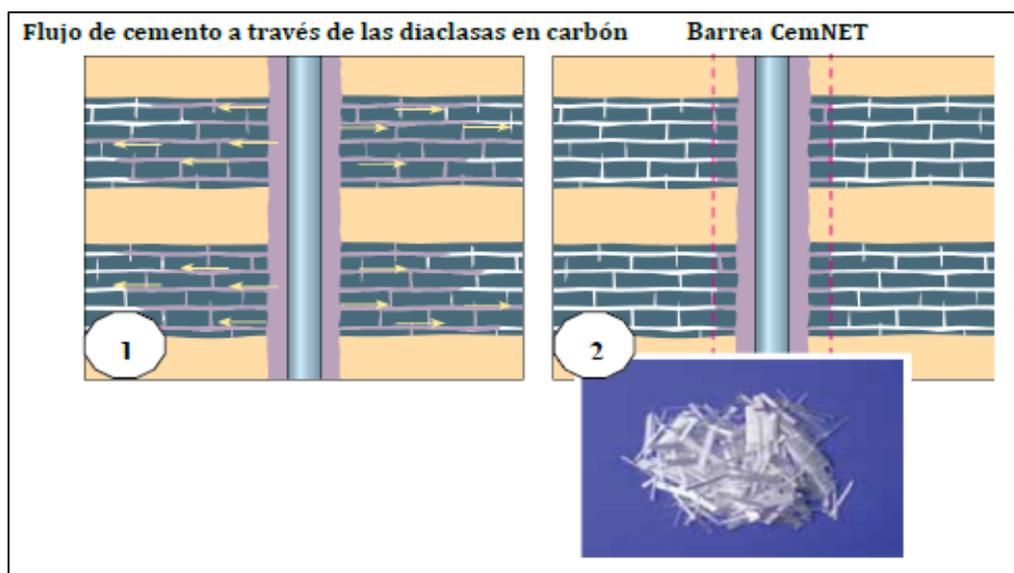
Otra ventaja de este tipo de pozo es que reduce el impacto ambiental, operando desde locaciones pequeñas y ampliamente espaciadas, y requiriendo pocos caminos, instalaciones de superficie o sistemas de recolección.

### 3.4. Cementación.

La cementación de pozos de GAMC es comparable a la cementación de pozos convencionales excepto por la necesidad de controlar la invasión de fluido en el delicado sistema de fracturas. El sistema de diaclasas de un carbón requiere consideraciones especiales durante la planificación de las operaciones de cementación. En profundidades someras, las lechadas de cemento convencionales invaden las profundidades de la red de diaclasas y fracturas naturales e impiden la producción futura de agua y gas. Debido a su baja resistencia mecánica, los carbones pueden fracturarse bajo la presión del cemento. Por estas razones, la densidad de la lechada de cemento utilizada en los pozos GAMC en general es mucho más baja que la de los cementos estándar. La simple reducción de la densidad de la lechada no garantiza la efectividad de una operación de cementación. El cemento debe de formar un sello para el aislamiento zonal y poseer una resistencia a la compresión adecuada para mantener la integridad durante los tratamientos de estimulación por fracturamiento. A veces se implementan operaciones de cementación de dos etapas—lechadas iniciales livianas seguidas de lechadas de cola más pesadas—pero así y todo se obtiene resultados indeseados. Los extendedores de cemento utilizados para aliviar el peso de la lechada pueden reducir la resistencia a la compresión por debajo de niveles aceptables, y las lechadas de cola con alta resistencia a la compresión a menudo rompen la formación. La pérdida de cemento a través de las zonas productivas produce daños y deja sin protección a los mantos de carbón más someras. Cuando no se establecen los retornos del cemento a la superficie, debido a las pérdidas que se producen en los mantos de carbón, es probable que queden expuestas areniscas de agua dulce.

Las lechadas de cementación han sido diseñadas para encarar algunos de los problemas generados por las operaciones tradicionales de dos etapas. Por ejemplo un sistema llamado LiteCRETE, que combina la baja densidad de la lechada con una alta resistencia a la compresión inicial, es efectivo en las aplicaciones de GAMC. Pero hasta estas lechadas livianas experimentan pérdidas en la red de fracturas de carbón: cuanto mejor es la red de fracturas, mayores son las pérdidas. Para compensar la presencia de fracturas y obturarlas, los operadores agregan materiales para prevenir las pérdidas de circulación a los fluidos del colchón de prelavado; no obstante, existe poco control con respecto al emplazamiento de la lechada.

Otra tecnología como la es CemNET son diseñadas como alternativa con respecto a los materiales convencionales de prevención de pérdidas de circulación, (Figura 40). Su tamaño es optimizado para obturar las fracturas abiertas y las diaclasas y conforman una red de tipo reticular a través de las zonas de pérdida de circulación. Inertes y por consiguientes no reactivas con los fluidos de formación, causan poco o ningún daños a la formación. El aditivo CemNET no reduce la resistencia a la compresión del cemento ni incrementa el tiempo de espesamiento.



**Figura 40.** Fibras CemNET. El cemento presente en las diaclasas del carbón impide la producción de agua y gas en el pozo y puede afectar negativamente los tratamientos de estimulación por fracturamiento (1). Las fibras CemNET (inserto) forman una barrera de tipo rejilla en la región vecina al pozo para detener el flujo de cemento hacia las diaclasas (2). Fuente: Oilfield Review invierno2003/2004. Schlumberger, “Yacimientos de metano en mantos de carbón”.

Una correcta centralización de la tubería a través de los mantos de carbón es requerida para obtener un aislamiento óptimo en la cementación. El uso de centralizadores rígidos es recomendable para reducir la posibilidad de un estancamiento de la tubería durante la operación en pozos horizontales.

### 3.5. Terminación de pozos de GAMC.

La terminación de pozos destinados a la extracción de gas asociado a yacimientos de carbón es similar a la terminación de yacimientos de gas convencional pero con ciertas modificaciones debido a las propiedades del carbón.

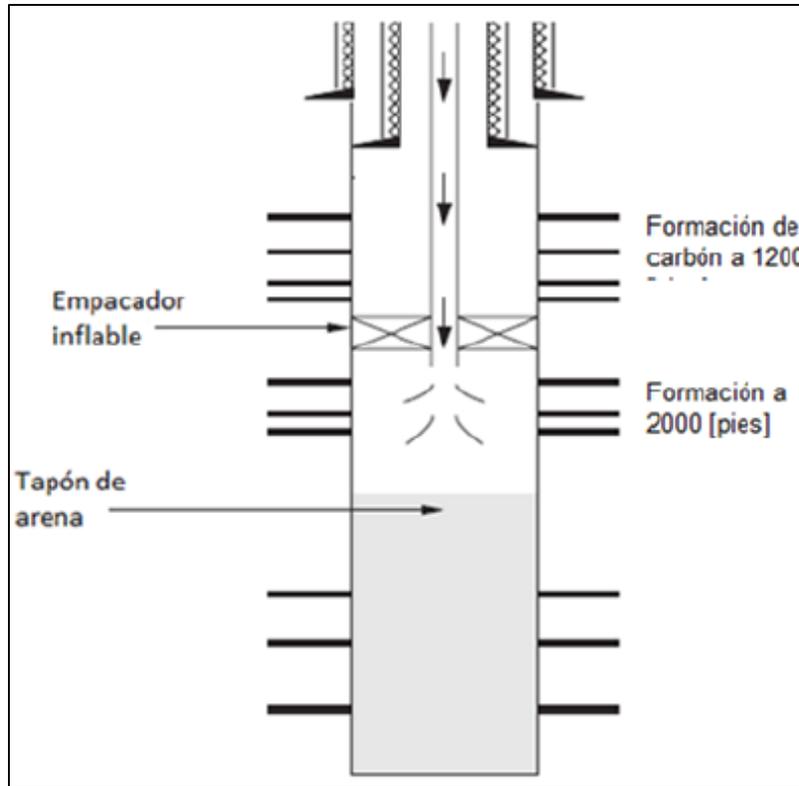
Algunas de las propiedades del carbón que generan problemas son las siguientes:

- El carbón es frágil o deleznable. El tipo de carbón con el rango óptimo necesario para la generación de gas metano también es el más frágil.
- El carbón tiene un extenso sistema natural de fracturas que debe estar conectado con el agujero para proporcionar una adecuada permeabilidad.
- Propiedades de adsorción que guían a la matriz del carbón, especialmente para componentes orgánicos que hacen al carbón susceptible a los fluidos fracturantes.
- Se generan partículas finas durante la terminación y la producción.

Es por esto, que la terminación realiza de acuerdo a las condiciones de perforación y las propiedades mencionadas. Los tipos de terminación de los pozos destinados a la extracción del gas en mantos de carbón son entre otras: la terminación en agujero descubierto y la terminación cementada. La operación de cementación se ha descrito anteriormente. La terminación en agujero descubierto tiene la ventaja de no dejar tubería que obstaculice la minería posterior al drenado, el proceso de cementación no daña la formación del carbón y proporciona un acceso sin obstáculos a la formación del carbón desde el agujero del pozo. Una terminación en agujero descubierto consiste básicamente en:

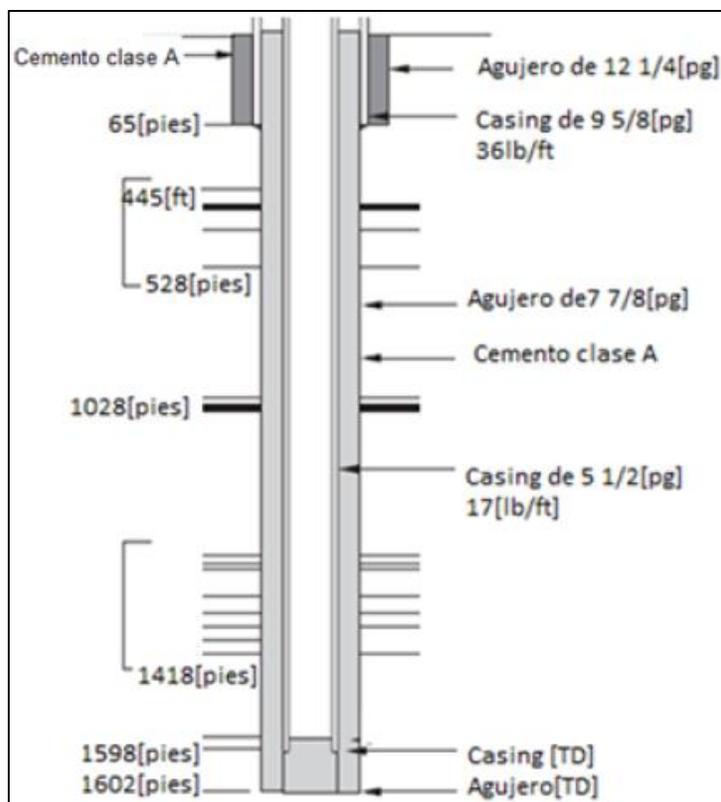
1. Tubería de revestimiento colocada debajo de la zona de carbón.
2. El agujero pasa a través del yacimiento de carbón.
3. La operación de fracturación hidráulica puede o no realizarse.
4. El pozo es limpiado con aire comprimido.
5. Equipo de bombeo es instalado.
6. Se colocan cabezales de producción.

La terminación en agujero descubierto tiene la desventaja de no tener un buen control del flujo de fluidos durante una estimulación, ocasionando pérdidas de fluido o colapso de la formación. Al no estar cementado el agujero es difícil controlar el flujo de agua proveniente de acuíferos. Este tipo de terminación es común en intervalos individuales. La terminación con agujero descubierto puede realizarse con una terminación múltiple en zonas diferentes con el propósito de mejorar la producción de gas. La Figura 41 muestra este tipo de terminación (Lambert, et al.).



**Figura 41.** Terminación en agujero descubierto. (Fuente: Coalbed Methane: Principles and Practice, Halliburton 2007).

La terminación entubada tiene la ventaja de un control de fluidos en el acceso al estrato de carbón y mantiene la estabilidad del agujero. Cuando el yacimiento de carbón requiere de un proceso de estimulación en diferentes intervalos es preferible utilizar este tipo de terminación. La desventaja de este tipo de terminación es el posible daño a la formación durante el proceso de cementación que ya se ha mencionado, además del costo que se incrementará al utilizar aditivos especiales. La Figura 42 es un ejemplo de terminación con agujero entubado en diferentes intervalos (Lambert, et al.):



**Figura 42.** Esquema de una terminación revestida. (Fuente: Coalbed Methane: Principles and Practice, Halliburton 2007).

Para que el pozo empiece a fluir requiere de un acceso a la formación. Esto se refiere a una técnica que comunique el pozo (descubierto o entubado) con el estrato objetivo. Para un agujero descubierto la formación se encuentra en contacto la sección del pozo. Pero en una terminación entubada la comunicación se logra por la perforación de la tubería o bien instalando una tubería previamente perforada.

### 3.6. Fracturamiento hidráulico.

El fracturamiento hidráulico se utiliza como un método de estimulación en rocas consolidadas duras. Se adopta en pozos de aceite y gas, aunque se utiliza poco en pozos de agua de poca y moderada profundidad, por ser algo complicado y caro. Es un método aceptado por la ISRM (Internacional Society for Rocks Mechanics) para la estimación del estado natural de tensiones del terreno.

Éste es un mecanismo imprescindible para la producción económica de GAMC, que se aplica antes de la extracción de agua. A excepción de la cuenca San Juan, ninguna extracción ha dado una buena producción sin este tratamiento. Actualmente se revela como la técnica más utilizada en la producción de GAMC.

Los objetivos que se persiguen tras la aplicación de esta técnica son, en primer lugar, aumentar la producción de agua y la reducción de presión en el fondo del pozo, con lo que se aumentaría el desprendimiento de metano. Además, se procura establecer una buena conexión entre el pozo y el yacimiento, distribuir la caída de presión en el yacimiento y controlar la producción de finos.

La primera vez que se utiliza este sistema en yacimientos de hidrocarburos es en 1947, desarrollado por Petroleum Corp. en el campo petrolífero de Hugoton (Kansas), en el pozo Kelpper nº1.

El método consiste en la ampliación de la red de fracturas, o creación de nuevas, mediante el bombeo de fluido al interior del pozo con un radio de inyección muy alto para que la formación lo acepte. Con el aumento de resistencia al flujo en la formación aumenta la presión en el pozo, que es mayor que la presión de ruptura de la formación, por lo que se crean fracturas a través de las que se mueve el fluido de fracturación.

La mayor parte de las veces se crea una fractura vertical que se propaga en dos direcciones desde el pozo con un ángulo de 180° entre ellas. Estas fracturas se asumen iguales en forma y tamaño. En formaciones fracturadas de forma natural, como el carbón, es posible que se creen múltiples facturas durante el proceso.

El proceso sería el siguiente. Se inyecta un fluido a alta presión para crear y dilatar fisuras, evitando que se cierren de nuevo cuando se deje de aplicar presión mediante la introducción simultánea de un apuntalante. El tramo del sondeo donde se realiza la inyección debe estar aislado previamente por un doble obturador. Asimismo es necesario que previamente se hayan limpiado las fracturas de rellenos finos mediante sistemas de desarrollo convencionales (pistoneo, aire comprimido, inyección de polifosfatos) y eliminar los precipitados carbonatados mediante inyección de soluciones ácidas. Además, también resulta imprescindible que el pozo por encima de la zona que se quiere fracturar esté entubado con una tubería muy resistente y muy bien cementada, pues de lo contrario el agua escapa al exterior o a formaciones suprayacentes.

El fracturamiento hidráulico se realiza mediante bombas de inyección de agua a altas presiones. Generalmente, la presión de fracturación es proporcional a la profundidad de la formación a estimular, siendo el factor de proporcionalidad igual o superior a 0,23 at/m.

Las fracturas creadas se mantendrán abiertas cuando deje de aplicarse presión mediante el apuntalante. Al fluido de inyección conviene añadirle un gelificante y otros aditivos que le ayuden a aumentar la viscosidad, para el transporte de éste. Tras la apertura y apuntalamiento de las fracturas, se procede a la extracción del fluido del pozo, mediante bombeo, y se desaguará, con lo que comenzará la etapa de producción.

Las fisuras producidas tienen una anchura de pocos milímetros y una extensión de varias decenas, o incluso centenas de metros. Cada una de esas fracturas puede aportar una transmisividad de uno a varias decenas de  $m^2/día$ .

El fracturamiento solo debe aplicarse a pozos bien construidos, con buena cementación y cuando sean productores pobres, ya que de lo contrario no sería posible aumentar suficientemente la presión con las bombas de lodos usuales, y sería preciso recurrir a bombas de alta presión y alto gasto. Existen equipos de inyección montados sobre camiones capaces de proporcionar gasto de algunas decenas de litros/seg. a presiones de más de 500 atm, aunque su alquiler resulta costoso y el precio del desplazamiento puede ser elevado.

Para poder realizar operaciones de fracturación hidráulica, el carbón debe estar a una profundidad mínima de 150 m, de forma que la presión hidrostática y la litostática puedan contrarrestar a la del fluido inyectado.

## **Objetivos del Fracturamiento Hidráulico**

Como ya se expuso en apartados anteriores, el principal objetivo del fracturamiento hidráulico, es al aumento de la productividad. Ésta se expresa mediante el índice de productividad, que representa el volumen de aceite o gas que puede obtenerse mediante una presión diferencial entre los hidrocarburos y la boca del pozo.

Con este sistema se consigue:

- Aumentar el radio de flujo de yacimientos de hidrocarburos de baja permeabilidad.
- Aumentar el ratio de flujo en pozos dañados de hidrocarburos.
- Conectar las fracturas naturales o diaclasas con el pozo.
- Disminuir la caída de presión alrededor del pozo, con lo que se consigue reducir a su vez la producción de arena.
- Disminuir la caída de presión alrededor del pozo y que comporta la aparición de un menor número de los problemas derivados de la deposición hidrocarburos pesados (parafinas y asfaltos).
- Aumentar el área de drenaje del pozo, aumentando el área de contacto con la formación.

## **Mecanismos de fracturamiento.**

En la industria del petróleo se utiliza la teoría de mecánica de fracturación desde hace más de 50 años. En nuestro caso, GAMC, utilizamos la teoría denominada poroelástica, que es la única existente para formaciones subterráneas porosas y permeables.

Los parámetros más importantes serían: tensión in-situ, relación de *Poisson*, y el módulo de Young.

## **Fluidos fracturantes y aditivos.**

La presión de ruptura de la roca, que es la que debe excederse para su fracturación, es igual a la tensión in-situ más la resistencia a tracción de la roca. Una vez rota la formación y creada una fractura, ésta puede propagarse a una presión denominada de propagación de fractura, que es igual a la tensión in-situ más la caída de presión en la red de fracturas más la caída de presión en las inmediaciones del pozo.

La caída de presión en la red corresponde a la caída de presión en las fracturas debida a la viscosidad del fluido. La caída de presión en el pozo se revela como la combinación de la caída de presión por viscosidad del fluido en su paso a través de las perforaciones en la tubería de revestimiento y la caída de presión debida a la tortuosidad del camino entre el pozo y la fractura propagada. De todo esto, se deduce la importancia de las propiedades del fluido en el fracturamiento hidráulico.

## **Propiedades del fluido de fracturación.**

Los fluidos para fracturación hidráulica se han desarrollado desde los años 60, si bien su mayor desarrollo se ha dado en los 90, su misión es iniciar o expandir las fracturas y transportar el agente apuntalante dentro de las mismas. El fluido debe ser compatible con la roca de la formación y en el momento de la recuperación, debe tener baja viscosidad para una mayor limpieza, para lo que se puede añadir un fluido.

Según Powel et al (1999) el fluido de fracturación debe:

- Tener una viscosidad suficiente y generar suficiente caída de presión en la formación para crear una fractura lo suficientemente ancha.
- Maximizar su distancia de transporte para extender la longitud de las fracturas.
- Ser capaz de transportar alta cantidad de apuntalante a las fracturas.
- Requerir un mínimo agente gelificante para permitir una degradación más sencilla.

Los fluidos de fracturación están constituidos principalmente en base agua, aceite y espumas. Para la mayoría de los recursos de GAMC, los de base agua con aditivos resultan los más propicios, aunque también se aplican fluidos en base aceite. El metanol es utilizado en ocasiones en vez de agua, o añadido a ella para disminuir el flujo fugado y aumentar la recuperación del fluido (Thomson et al, 1992).

Fluidos de fracturación según su base y sus condiciones de uso			
Base	Tipo de fluido	Composición principal	Aplicación
Agua	Fluidos lineales	Agua gelificada, GUAR< HPG, HEC, CMHPG	Fracturas: cortas Temperatura: baja
	Fluidos cross-flow	Crosslinker + GUAR, HPG, CMHPG, CMHEC	Fracturas: largas Temperatura: altas
Espuma	Espumas base agua	Agua y espumante + N <sub>2</sub> o CO <sub>2</sub>	Formaciones con baja presión
	Espumas base ácida	Ácido y espumante + N <sub>2</sub>	Formaciones con baja presión, sensibles al agua
	Espumas base alcohol	Methanol y espumante + N <sub>2</sub>	Formaciones con baja presión, con problemas de obstrucción de agua
	Emulsiones de agua	Agua + aceite + emulsificador	Buenas para control de pérdidas de fluido.
Aceite	Fluidos lineales	Aceite, aceite gelificado	Fracturas: cortas Formaciones sensibles al agua.
	Fluidos de flujo cruzado	Gel de éster fosfato	Fracturas: largas Formaciones sensibles al agua.

**Tabla 10.** Fluidos de fracturación según su base y sus condiciones de uso. (Fuente: Understanding Key Reservoir Properties and their influence on Producibility (Michael Dawson, President, Dawson Energy Advisors Ltd.), Noviembre 2013).

Es necesaria una alta viscosidad del fluido, normalmente 50–1000 cp, para que la fractura sea suficientemente ancha y para poder transportar el apuntalante dentro de la fractura.

La densidad del fluido de fracturación también se erige como un parámetro a tener en cuenta, ya que afecta a la presión de inyección y a la capacidad de recuperación del fluido. La densidad de los fluidos en base agua un poco superior a 1 g/cm<sup>3</sup>, mientras que las de base aceite y espumas son el 75% y el 50% de ésta respectivamente. Por esta razón, el yacimiento tiene baja presión, pueden utilizarse espumas para ayudar a la limpieza.

En todos los diseños de fracturamiento se utiliza la ecuación siguiente para calcular el volumen de fracturas.

$$\text{Volumen de fracturas} = \text{volumen total de fluido inyectado} - \text{volumen de flujo de fugas}$$

**Ecuación.** Volumen de fracturas.

La eficiencia del fluido se puede definir como: el porcentaje de fluido que existe en la fractura en cualquier tiempo con respecto al volumen total inyectado en el mismo punto y tiempo. Howard y Fast (1957) utilizaron el concepto de fluido fugado para determinar la superficie de fracturas. Si se presenta un alto fluido fugado, el fluido tendrá baja eficiencia (20-30%). En un fluido de alta eficiencia (80-90%) la fractura no cierra rápidamente tras la hidrofracturación. Una eficiencia del 40-60% arroja un balance óptimo entre fracturas creadas y apuntaladas.

En yacimientos de baja permeabilidad, el fluido fugado y la eficiencia están controlados por la permeabilidad. Mientras que, en yacimientos de alta permeabilidad se hace necesario añadir un aditivo para controlarlo. Los mantos de carbón presentan diaclasas, por lo que es posible que se dé una pérdida importante de fluido, lo que implica una baja eficiencia. Para fracturarlas tendremos que utilizar un ratio de bombeo alto y añadir un aditivo para disminuir la pérdida de fluido. El método más usual es utilizar fluidos en base agua con pocos aditivos, a un gasto de inyección medio-alto.

*Principales categorías de fluidos de perforación:*

- Fluidos gelificados
  - Geles lineales
  - Geles cross linked
- Espumas
- Agua
  - Agua sin aditivos
  - Agua con KCl
- Ácidos
- Combinación de los anteriores.

### **Agentes apuntalantes.**

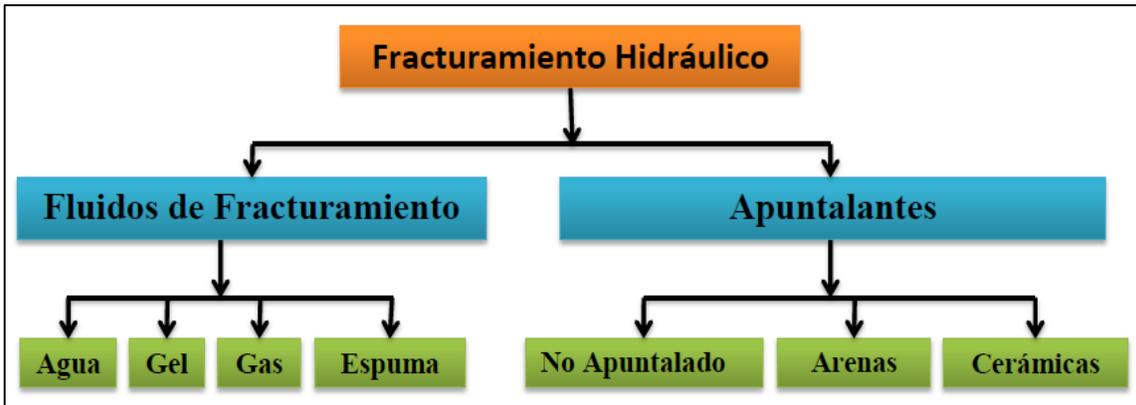
Su función consiste en mantener abiertas las fracturas creadas una vez que se deja de bombear, por lo que ha de ser resistente a la compresión y a la corrosión, además de tener baja densidad y bajo costo y permitir una buena permeabilidad de la fractura.

Los tipos principales son: arena de sílice, arena recubierta de resina y material cerámico. Para seleccionar el apuntalante no existen reglas fijas, el único requisito es que ha de adaptarse al fluido principal de fracturación.

La arena de sílice se obtiene de graveras. Debe comprobarse la resistencia a compresión en una determinada situación. Utilizada en formaciones poco profundas. Además, es la más barata y suele elegirse para formaciones de carbón.

La arena recubierta de resina epoxy se presenta como más resistente que la anterior, propiedad que hace que sea utilizada en formaciones con mayor presión, pero también entraña un mayor costo. En este caso, pueden utilizarse algunas resinas que forman un paquete consolidándose unas con otras, con lo que se disminuye el flujo de apuntalante al pozo en la recuperación.

Los apuntalantes cerámicos se catalogan en tres tipos, que ordenados de mayor a menor resistencia serían: bauxita sinterizada, apuntalante de media resistencia (ISP) y apuntalante de baja densidad (RWP). Su resistencia es proporcional a su densidad y a su costo.



**Tabla 11.** Opciones de estimulación de mantos de carbón utilizando fracturamiento hidráulico (Fuente: Understanding Key Reservoir Properties and their influence on Producibility (Michael Dawson, President, Dawson Energy Advisors Ltd.), Noviembre 2013).

### 3.7. Agua producida en GAMC.

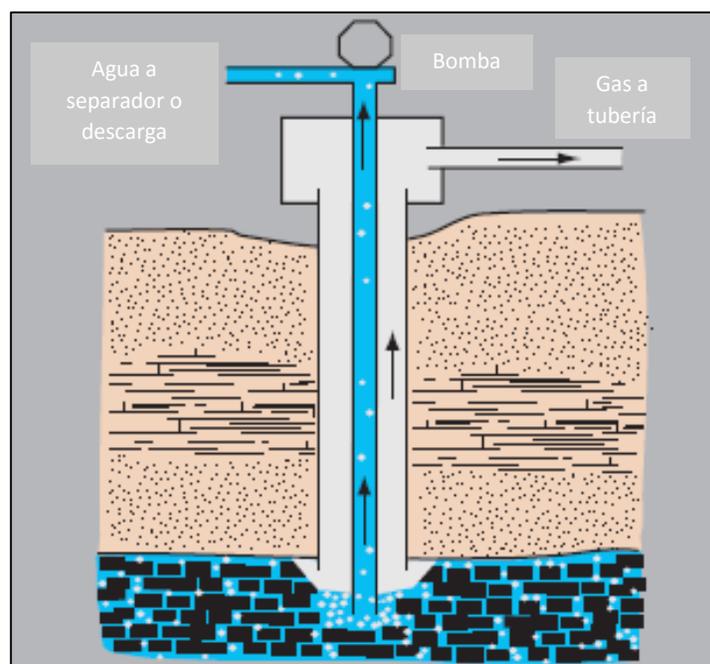
El gas natural producido a partir del Coal Bed Methane (CBM) o GAMC representa aproximadamente el 7,5 por ciento de la producción total de gas natural en los Estados Unidos. Junto con este gas, el agua también es llevada a la superficie.

Los desarrollos de GAMC pueden presentar desafíos complejos relacionados con el agua, así como sus posibles usos y beneficiosos. Debido a que la producción de GAMC comienza generalmente mediante el drenaje de un gran volumen de agua, con regularidad se presentan problemas significativos, incluyendo los residuos potenciales y la posible contaminación de los recursos hídricos, tanto en la cantidad y calidad del agua.

Esto se conoce como la fase de deshidratación en el desarrollo del GAMC y la experiencia en los EE.UU. indica que puede tomar 12 meses o más, antes de que volúmenes comerciales de gas se produzcan. Un solo pozo de GAMC puede producir 63,595 litros de

esta "agua producida" por día durante esta fase. Estos pozos pueden producir 10-100 veces más agua que los pozos de gas convencionales. La calidad del agua producida varía de una cuenca a otra, y siempre está en riesgo de contaminación por los productos químicos utilizados en la extracción.

La cantidad de agua producida a partir de la mayoría de los pozos de GAMC es relativamente alta en comparación con pozos de gas natural convencionales debido a los yacimientos de carbón contienen muchas fracturas y poros que pueden contener y transmitir grandes volúmenes de este líquido. En algunas áreas, los mantos de carbón pueden funcionar como acuíferos regionales o locales y fuentes importantes para las aguas subterráneas. El agua en los yacimientos de carbón contribuye a la presión en el yacimiento que mantiene el gas metano adsorbido a la superficie del carbón. Esta agua debe ser eliminada mediante el bombeo con el fin de disminuir la presión en el yacimiento y estimular la desorción del metano del carbón (fig. 43). Con el tiempo, los volúmenes de agua que se bombea disminuyen y la producción de gas aumenta, conforme los yacimientos de carbón se deshidratan cerca de la pared del pozo.



**Figura 43:** ilustración simplificada de un pozo de producción de GAMC. FUENTE: Adaptado de Rice y Nuccio (2000).

La necesidad de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> favorece el aumento del uso de gas natural como una alternativa al carbón. La contribución del GAMC a la producción total de gas natural en los Estados Unidos se espera que aumente en un futuro previsible (Nelson, 1999). Las estimaciones de la cantidad de GAMC recuperable han aumentado de unos 90 mil millones de pies cúbicos hace 10 años a alrededor de 141 mil millones, estimulado por los avances en la tecnología, la exploración y producción (Nelson, 1999). Como el número de pozos de GAMC aumenta, la cantidad de agua producida también aumentará. Se necesitan datos fiables sobre el volumen y la composición del agua asociada de modo que los Estados y las comunidades puedan tomar decisiones informadas sobre el desarrollo de GAMC.

### 3.7.1. Volúmenes y Composiciones del Agua de GAMC.

Como se muestra en la tabla 12, la cantidad de agua producida, así como la relación de agua-gas, varía ampliamente entre las cuencas con la producción de GAMC. Las causas de las variaciones incluyen la duración de la producción de GAMC en la cuenca, ambiente de depósito original, la profundidad y el tipo de carbón.

Las recientes regulaciones relativas a la eliminación de desechos y el drene en la producción de agua han dado lugar a información más precisa sobre el agua. Los volúmenes de agua producida a partir de mantos específicos de carbón tiene el potencial de proporcionar información sobre la exploración y producción de GAMC. La información de composición se limita a las principales especies de iones disueltos en el agua (cationes y aniones), mientras que la información sobre las trazas de metales y composición isotópica es escasa.

Cuenca	Estado	No. de Pozos	Producción promedio de agua (/Bbl/día/pozo)	Relación agua/gas (Bbl/MCF)	Método de disposición primario
<b>Black Warrior</b>	Alabama	2917	58	0.55	Descarga Superficial
<b>Powder River</b>	Wyo., Mont.	2737	400	2.75	Descarga Superficial
<b>Raton</b>	Colo.	459	266	1.34	Inyección
<b>San Juan</b>	Colo., N. Mex.	3089	25	0.031	Inyección
<b>Uinta</b>	Utha	393	215	0.42	Inyección

**Tabla 12.** Producción de agua en algunas de las principales cuencas productoras de GAMC en E.U.A.

En general, los iones disueltos en el agua co-producidos con GAMC contienen principalmente Sodio (Na), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y Cloruro (Cl). La composición es controlada en gran parte por la asociación de las aguas con la fase gas que contiene cantidades variables de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano. El componente de bicarbonato, limita potencialmente la cantidad de calcio (Ca) y magnesio (Mg) a través de la precipitación de los minerales de carbonato. Las aguas de GAMC son relativamente bajas en sulfato ( $\text{SO}_4$ ) debido a que las condiciones químicas en los yacimientos de carbón favorecen la conversión de  $\text{SO}_4$  a sulfuro. El sulfuro es removido como un gas o como un precipitado. Los sólidos disueltos totales (TDS) del agua de GAMC varía de 200 mg/L o partes por millón (agua dulce) a una solución salina de 170.000 mg L y varía entre y dentro de las cuencas. Para la comparación, el límite TDS recomendado para agua potable es de 500 mg/L, y para el uso beneficioso tales como estanques o para riego, los valores límite es de 1.000-2.000 mg/L. el agua de mar tiene un promedio de TDS de aproximadamente 35.000 mg/L. El TDS del agua depende de la profundidad de los mantos de carbón, la composición de las rocas que rodean los yacimientos de carbón, la cantidad de tiempo de reacción entre la roca y el agua, y el agua originada que entra en los mantos de carbón. La concentración de elementos traza en agua de GAMC es baja ( $<1$  mg/l) como son los compuestos orgánicos volátiles (Instituto de Investigación de gas, 1995; Rice, 2000). En general, un volumen importante de GAMC es de mejor calidad que las aguas producidas a partir de pozos de aceite y de gas convencionales.

### 3.7.2. Estudios del USGS de agua producida en GAMC.

El Servicio Geológico de EE.UU. (United States Geological Survey, USGS por sus siglas en inglés) tiene estudios en curso diseñados para proporcionar información sobre la composición y volúmenes de agua de GAMC en algunas de las áreas más activas en la producción de este hidrocarburo en los Estados Unidos. La información obtenida sobre las aguas de GAMC proporciona indicios sobre la heterogeneidad del yacimiento, las posibles trayectorias de afluencia en el yacimiento, el origen y la evolución del agua; y la calidad de esta antes de su eliminación o reutilización. El Equipo de Recursos de Energía del USGS está llevando a cabo estudios multidisciplinarios en Powder River Basins (Cuenca al sureste de Montana y noreste de Wyoming en Estados Unidos conocida mundialmente por sus depósitos de carbón. Provee el 40% de carbón en ese país) que incluyen el muestreo de aguas coproducidas con GAMC (Figura 44). Estos estudios combinan las investigaciones de geología regional y la hidrología, así como estudios de yacimientos específicos tales como la orientación de las fracturas del carbón, la composición de carbón, la composición y los valores isotópicos del gas, desorción del metano y la composición del agua.



**Figura 44:** Toma de muestra de agua a boca de pozo de GAMC. Muchos parámetros, tales como el PH, la alcalinidad y contenido de metales, cambian rápidamente una vez que se elimina el agua del pozo (Foto).

### 3.7.3. Destino del Agua de GAMC.

El agua co-producida con el metano no se reinyecta en la formación productora, esto, para mejorar la recuperación en otros campos de aceite. En su lugar, se debe eliminar o utilizarse con fines benéficos.

La elección depende en gran parte de la composición del agua. Información adicional de la composición debe incluir TDS (a menudo se equipara a la "cantidad de sal", que el agua contiene), pH, concentraciones de metales radioactivos disueltos y el tipo y las cantidades de los componentes orgánicos disueltos. Si, con menor o ningún tratamiento, el agua es de

calidad suficiente, puede ser utilizado con precaución para complementar el suministro de agua en la zona. Esta agua debe cumplir con los requisitos en virtud de varias regulaciones federales y estatales. Si el agua no cumple con los estándares federales y estatales para su reutilización, o si el costo del tratamiento es excesivo, el agua se elimina por inyección en una formación subterránea compatible o por descarga superficial. La eliminación de aguas de GAMC también está regulada por las agencias federales y estatales y debe cumplir con los criterios para cada tipo de disposición. Para cualquier campo de GAMC, el costo de manejo del agua coproducida varía desde unos pocos centavos por barril a más de un dólar por barril y puede añadir significativamente con el costo de producción de gas. En algunas áreas, los volúmenes de agua producida y el costo de manejo pueden prohibir el desarrollo del recurso.

### **3.8. Manejo de Agua.**

#### **3.8.1. Uso benéfico.**

El uso benéfico del agua producida de GAMC representa una oportunidad para que los operadores, propietarios de las tierras e industrias cercanas puedan proveerse con agua y así no den lugar a la pérdida de este recurso. La capacidad de un operador de GAMC para proporcionar esa agua producida para usos beneficiosos a la industria o los propietarios de tierras puede proporcionar beneficios únicos y sustanciales.

#### **3.8.2. Control de polvo.**

El polvo es una molestia notable, especialmente en las regiones áridas del país, al igual que al área donde se llevó a cabo este estudio (Powder River Basin, Montana). El polvo de las actividades de construcción y de viajes de personal y equipo por carreteras sin pavimentar tiene el potencial de afectar la calidad del aire y crear una molestia para aquellos que viajan en estas áreas. El uso de agua producida para controlar el polvo ofrece múltiples beneficios desde el punto de vista del medio ambiente, incluyendo la prevención de problemas de calidad del aire y la pérdida de tierras superficiales. Con base en los datos de calidad del agua disponible para el agua procedente de los mantos de carbón subterráneo, la aplicación de agua producida para controlar el polvo parece factible. Sin embargo, el análisis específico del sitio puede ser necesario, así como la obtención de las aprobaciones correspondientes de los propietarios de tierras y agencias gubernamentales aplicables.

Las posibles aplicaciones de agua producida para el control del polvo incluyen el uso en las carreteras de arrendamiento, otros caminos sin pavimentar en el área de desarrollo, y varias obras de construcción donde existen alteraciones superficiales debido al desarrollo de GAMC. El agua producida a partir de las operaciones de GAMC ha sido proporcionada a las minas de carbón cercanas para usos industriales que incluyen el control de polvo.

El agua producida de GAMC y el uso para suprimir el polvo presenta algunos problemas. La mala calidad del agua de GAMC; generalmente se asocia a valores de relación de adsorción elevada de sodio (Sodium Adsorption Ratio, SAR por siglas en inglés), puede crear problemas con suelos naturales. Los suelos y los cultivos tienen una particular sensibilidad al sodio y su concentración relativa de calcio y de magnesio (que se refiere como la relación de adsorción de sodio) en el agua. Si los operadores aplican de forma continua agua de alta SAR para acceder a las rutas y zonas sin pavimentar, pueden surgir problemas futuros de recuperación de tierras y la resiembra. Adicionalmente se podrían

presentar complicaciones como: aumento de la erosión del suelo si el agua se aplica con demasiada frecuencia o a volúmenes elevados. El hecho de que el agua de producida tiene el potencial de causar impactos negativos en los suelos nativos en muchas partes de la cuenca de Powder River, hace necesario una cuidadosa evaluación de las aplicaciones de usos benéficos, tales como el control de polvo, que involucran la aplicación del agua producida en la superficie de la tierra.

### **3.8.3. Irrigación.**

El ambiente árido en el área de estudio no es muy adecuado para la producción de cultivos. La mayoría de la producción de cultivos dentro de la zona se produce ya sea en terrazas por encima de los valles o en campos regados a lo largo de los ríos y arroyos del valle. Hay menos de uno por ciento de la tierra dentro del área de estudio que actualmente se utiliza para la producción agrícola. El uso de agua producida para proporcionar a los agricultores de la zona con más agua para fines de riego, podrían aumentar las tierras disponibles para la producción agrícola. La coordinación entre el operador del GAMC, el dueño de las tierras y la comunidad agrícola local podría ofrecer oportunidades para el suministro de agua para el riego de GAMC. Los usos para riego tienen un rango definido de calidad aceptable del agua en función del tipo de suelo y la selección de los cultivos, pero se reporta que algunos acuíferos asociados a mantos de carbón pueden contener agua idónea.

El GAMC produce aguas con alta relación de adsorción de sodio (SAR) que probablemente no es apto para largos períodos de riego en zonas con ciertos tipos de suelo, a menos que se mezcle con agua de mayor calidad. Sin embargo, la disminución de las cosechas regadas con agua de menor calidad producidas por el GAMC podrían compensarse con la disponibilidad de agua para riego en zonas en las que no está disponible actualmente. Si se pusieran a disposición nuevas tierras de cultivo para la siembra debido a la disponibilidad de agua de GAMC, la comunidad agrícola puede ser capaz de utilizar grandes cantidades de este líquido, de menor calidad para el riego de un mayor número de acres y por lo tanto aumentar la producción agrícola en general, a pesar de que el rendimiento por acre pueden reducirse.



**Figura 45.** Riego por aspersión con agua producida de GAMC (Foto).

#### **3.8.4. Abrevaderos para ganado.**

A lo largo de la cuenca Powder River (PRB) hay tierras significativas que no cuentan con agua de fácil acceso. La disponibilidad de agua producida por las actividades de GAMC permitiría que algunas de estas tierras puedan ser utilizadas para el pastoreo. El rancharo tendría que obtener los derechos para el uso del agua producida para el ganado a través del *Department of Natural Resources* (DNR por sus siglas en inglés) de Montana. Hay estimaciones que, en promedio, el ganado puede consumir 11.5 litros de agua por día. Las normas gubernamentales de agua para el ganado, son menos restrictivas que el agua potable y permitirían el uso del agua de GAMC de menor calidad para este fin. La pronta coordinación y cooperación entre los operadores de GAMC en la zona, los terratenientes y ganaderos locales sobre los usos potenciales de agua producida, podría volver a resultar beneficioso para todas las partes. El agua producida de GAMC proporcionada a los ganaderos para su uso del agua para el ganado en zonas que actualmente carecen de agua, podría aumentar el área de tierra que los ganaderos tienen disponible para el pastoreo. Esta práctica se está aplicando actualmente en porciones del PRB a través del uso de tanques de almacenamiento hechas de neumáticos viejos de equipo pesado como el que aparece en la siguiente foto.



**Figura 46.** Tanque de almacenamiento común reciclado de neumáticos (Foto).

### **3.8.5. Uso industrial.**

En la PRB, los investigadores identificaron que ciertas industrias, específicamente las minas de carbón, a menudo carecen de agua para actividades tales como el control del polvo y la restauración de los acuíferos. La disponibilidad del agua producida de GAMC para industrias tales como las minas de carbón pueden ayudar en la restauración de los acuíferos afectados por las actividades mineras, así como proporcionar agua utilizable para controlar el polvo en suspensión dentro y fuera de la minería. Los desarrollos de GAMC, petróleo y gas pueden requerir grandes cantidades de agua durante la perforación, terminación, prueba de pozos y también para ciertos tratamientos de. Estas actividades podrían llevarse a cabo utilizando agua producida. Otras industrias tales como la fabricación y procesamiento carne pueden tener usos que sean compatibles con el agua producida de calidad suficiente.

### **3.8.6. Presas.**

Pequeñas presas pueden proporcionar una variedad de opciones de uso benéfico tanto para el operador como para los propietarios de tierras. Condiciones específicas del sitio pueden dictar que opciones son las más adecuadas para la zona, debido a la topografía, las condiciones del suelo, los depósitos de desechos y la finalidad prevista de la presa. El operador de GAMC puede coordinar con el propietario la ubicación de las presas, los usos futuros que pueda tener, ya sea para la construcción de canales o estanques fuera del canal y el tamaño de las presas. Las presas podrían tener una variedad de usos, incluyendo estanques de almacenamiento o para la recarga de acuíferos poco profundos, para la pesca, el ganado y los estanques de riego la para vida silvestre.



**Figura 47.** Foto de una presa contruida para diferentes usos (Foto).

### **3.8.7. Uso del Agua por los dueños de las tierras.**

La falta de suministro de agua en muchas zonas del PRB puede limitar las opciones que tienen muchos dueños de superficie para los usos del suelo. El agua producida que se suministra a los propietarios, crea opciones adicionales para su uso de la tierra. En algunos casos el propietario puede tener algún uso futuro y puede beneficiarse de la adición de agua producida. Los investigadores han visto la cooperación entre los propietarios y productores de GAMC en Wyoming y han proporcionado usos benéficos adicionales para el agua producida. La imagen aquí muestra un estanque de pesca que se construye y se abastece de agua a petición del propietario del terreno. En un caso, cerca de Sheridan, Wyoming los investigadores encontraron un contrato de arrendamiento en el que el propietario pidió que los operadores de GAMC crearan un estanque fuera del canal, alrededor de la cual se subdividió la propiedad de la superficie y se convirtió en un complejo de viviendas. A medida que continúa el desarrollo de GAMC, otras opciones probablemente serán identificadas por los propietarios de tierras para el uso benéfico de cantidades significativas de agua producida que de otro modo requerirían de disposición.



**Figura 48.** Estanque de pesca lleno de agua producida por GAMC, PRB Wyoming (Foto).

### **3.8.8. Uso de Agua Potable.**

El agua potable es un recurso valioso en las regiones áridas del área de estudio de PRB, Montana. El agua potable se suministra a menudo de acuíferos superficiales y acuíferos poco profundos asociados a los mantos de carbón. El agua co-producida con el metano es también un producto valioso sobre todo cuando se trata de la calidad del agua potable. En las zonas pobladas, el agua se podría utilizar para complementar el suministro de agua durante las estaciones secas o años de sequía, cuando hay un déficit de agua.

### **3.8.9. Almacenamiento y recuperación en acuíferos.**

En las distintas zonas donde hay estaciones secas y húmedas; durante la época húmeda, el agua es abundante en arroyos superficiales y en fuentes de agua subterránea. Sin embargo, el suministro de agua a menudo se agota durante las estaciones secas, dejando una demanda sobre el suministro de agua en ese momento. En estas áreas, el agua es captada a partir de corrientes superficiales y otras fuentes; a continuación, son almacenadas en acuíferos permeables para su uso durante la estación seca para asegurar que este recurso no se desperdicie. El almacenamiento y recuperación en acuíferos (Aquifer Storage and Recovery, ASR por sus siglas en inglés), es una tecnología probada para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua. El ASR es un proceso en el que se utilizan los acuíferos subterráneos como depósitos para almacenar agua, que luego se retira para su uso. En el área de estudio, la recarga de los acuíferos aluviales se produce durante el invierno y la primavera, cuando el deshielo de las montañas llena los arroyos. La producción de agua de GAMC será una actividad durante todo el año y puede ocurrir hasta por 20 años en algunos pozos de producción. Los reguladores y los ciudadanos están preocupados de que este valioso recurso pueda ser desperdiciado. El almacenamiento de agua producida para uso futuro, podría lograrse mediante el uso de técnicas de recuperación y almacenamiento en los acuíferos. En el caso de GAMC, grandes cantidades de agua producida podrían ser almacenados en acuíferos agotados o mantos de carbón

que se ha empobrecido. El ASR proporciona almacenamiento de agua a menor costo que otros métodos de almacenamiento. Otros beneficios de ASR incluyen la eliminación de pérdidas por evaporación y minimiza los impactos en el medio ambiente, que puede ser de particular importancia en los casos en que el agua producida sea de calidad de agua potable.



Figura 49. Esquema de un acuífero de almacenamiento y recuperación.

### 3.8.10. Recarga de acuíferos.

En los climas áridos como el de la zona de estudio, durante las estaciones secas y las sequías, los acuíferos poco profundos pueden experimentar importantes descensos del nivel de agua. La producción de GAMC también dará lugar a la reducción de los niveles de agua en los acuíferos asociados a los mantos de carbón. El agua producida de calidad suficiente se podría utilizar para recargar acuíferos durante los años de sequía y recargar los acuíferos agotados de los mantos de carbón. Se pueden construir presas y el agua producida les permitirá infiltrarse en los acuíferos aluviales poco profundos. Durante la infiltración de agua, ocurre una filtración y la calidad del agua puede ser mejorada en algunos casos. En otras partes de la PRB, los depósitos de carbón están expuestos en la superficie; estas zonas se agotan de gas metano a causa de su exposición a la atmósfera. Estas zonas se podrían utilizar para recargar los acuíferos con agua producida de los mantos de carbón. las actividades de producción de GAMC son poco probables en zonas cercanas a carbón expuesto y no se verían afectados por el aumento de la presión de poro resultante de los esfuerzos de recarga. El uso de agua producida de los mantos de carbón

para recargar acuíferos poco profundos también podría cumplir con los requisitos establecidos en algunos acuerdos de mitigación.

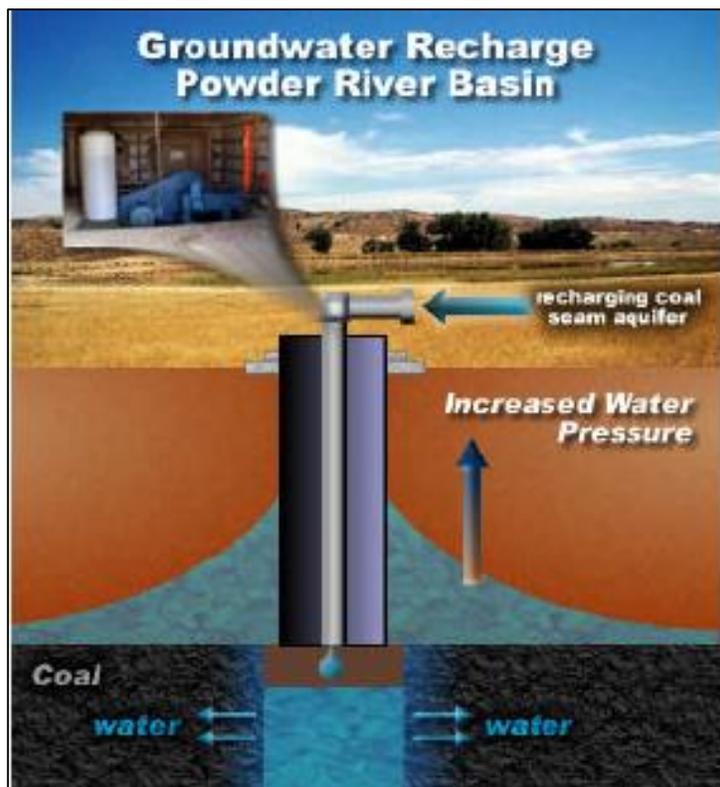


Figura 50. Imagen de la recarga de un acuífero con aguas producidas de GAMC.

### 3.8.11. Tratamiento.

Durante la producción de GAMC, el agua subterránea se extrae de los acuíferos asociados a los mantos de carbón para facilitar la liberación de gas metano atrapado bajo presión hidrostática. El desarrollo de nuevos campos de GAMC requerirá la producción de más agua de las zonas donde la presión hidrostática dentro del acuífero ya no se ha reducido. Durante la vida útil de un proyecto de GAMC, la velocidad a la que tendrán que ser drenadas las aguas subterráneas se espera que disminuya, mientras que el gas metano se siga produciendo.

El agua de GAMC puede ser considerada de mala calidad por una variedad de razones, dependiendo del uso benéfico previsto o práctica de eliminación se está considerando. Por ejemplo, el agua que está por debajo de los estándares de calidad del agua potable puede ser considerado pobre para los requisitos de mitigación, pero puede ser de calidad suficiente para abreviar el ganado. Otro ejemplo sería incluir agua que tiene un alto valor de SAR, que sería inadecuado para las prácticas de riego, pero todavía cumple con los estándares de agua potable. Es importante tener en cuenta que una parte del agua producida puede requerir tratamiento antes de su uso o su desecho. A continuación se presentan una variedad de tecnologías de tratamiento que podrían ser utilizados para el tratamiento de agua producida. Tecnologías de tratamiento que incluyen la congelación / descongelación / evaporación, la atomización, la ósmosis inversa, rayos UV, cloración,

tratamiento de los humedales, y otras, podrían ser utilizados en función de la utilización final prevista del agua producida; y así reutilizar este vital líquido.

El agua extraída durante el desarrollo de GAMC presenta desafíos, pero también puede ofrecer oportunidades para el uso benéfico del agua producida.

### **3.8.12. Eliminación de Agua.**

Hay una serie de opciones para el uso beneficioso de agua producida del GAMC dependiendo de la calidad de ésta y la eficacia de las diversas opciones de tratamiento que podrían aplicarse para mejorar la calidad del agua. Sin embargo, incluso con el tratamiento, es poco probable que la totalidad del agua producida se puede utilizar de manera benéfica, ya que para una parte del agua producida seguirá siendo necesaria su eliminación. La eliminación del agua producida podría ser la única opción disponible para algunos operadores. La calidad del agua producida puede ser tan pobre que el uso benéfico no es posible; las tecnologías de tratamiento pueden mejorar eficazmente la calidad del agua, o no. Si las condiciones específicas del sitio dictan que la eliminación es la opción de manejo preferida, hay una variedad de métodos de eliminación de agua producida de GAMC incluyendo, inyección en pozos profundos, de descarga directa a la superficie del suelo, vertidos directos a las aguas superficiales, y el uso de represas para la evaporación.

### **3.9. Impactos ambientales.**

Los efectos ambientales a corto plazo de la extracción de agua de los yacimientos de carbón y su eventual eliminación, almacenamiento o uso, están bien documentados. Sin embargo, debido a que la producción de GAMC es una industria relativamente joven, más supervisión y análisis de las aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos, se necesitan comprender plenamente ya que el potencial de impactos ambientales a largo plazo no se ha cuantificado.

Para evaluar el potencial a largo plazo, se sugiere una serie de tecnologías y enfoques de investigación, para proporcionar una base científica para incrementar la consistencia y la sofisticación de la gestión o manejo del agua producida en GAMC, incluyendo:

- El aumento de la frecuencia de los controles antes y después de que comience la producción; de entender mejor los impactos potenciales en la extracción de agua producida en GAMC y el manejo adecuado de las aguas subterráneas, las aguas superficiales, el suelo y los sistemas ecológicos;
- Investigación sobre las conexiones o enlaces entre las aguas de GAMC y otros mantos de aguas o acuíferos subterráneos;
- Análisis de los efectos de la extracción de agua no renovable "fósil" de los yacimientos de carbón; y
- Estudios para evaluar los efectos del agua producida en las especies biológicas acuáticas endémicas en el campo.

## **4. Metodología: Vigilancia tecnológica y Mapeo tecnológico.**

### **4.1. Vigilancia Tecnológica.**

La vigilancia tecnológica es una disciplina actual, necesaria en el mundo empresarial, debido a los cambios que se presentan en el mundo industrial, de forma que todo lo que sea sistematizar y estructurar esta actividad puede reportar grandes beneficios a las organizaciones, siendo algo imprescindible a incluir en la cultura empresarial.

De manera informal la vigilancia tecnológica es un proceso de recapitulación de información, análisis y toma de decisiones, con capacidad de anticiparse a la competencia en esas decisiones.

Según la norma UNE 166006:2006: “La Vigilancia Tecnológica es un proceso organizado, selectivo y permanente, de captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios”.

Un ejemplo simple, sería, una organización que quiere patentar una idea novedosa, de tal forma que si ésta no hace un estudio previo de patentes es posible que quiera registrar algo que ya este inventado, con lo que el coste sería enorme.

De tal forma que se podría considerar vigilancia tecnológica, como vigilar todo aquello que puede influir en la actividad actual y futura, siendo uno de los elementos principales la competencia; teniéndola identificada y pudiéndose vigilar desde varios aspectos; como: temas económicos financieros, qué tecnología está desarrollando, cómo aparece en prensa, información a tener en cuenta para saber qué es lo que quiere mostrar y hasta lo que no quiere mostrar.

#### **4.1.1. Aplicación.**

La inteligencia competitiva a grandes rasgos se puede aplicar en cualquier organización independientemente de su tamaño:

- En las grandes corporaciones se presentan como subunidades de inteligencia que se encuentran dentro de la propia estructura empresarial.
- PYMES o MicroPYMES, podríamos considerar dos opciones:
  - La subcontratación de un consultor externo o centro tecnológico externo; o
  - Desde la propia organización pero acotando muy bien el problema respondiendo a las siguientes cuestiones: ¿Qué soy hoy día?, ¿Dónde quiero estar? Y definiendo los objetivos, mercado, sector industrial, competidores con los que tiene que enfrentarse, tecnologías que tiene que dominar.

Con respecto a las PYMES se debe puntualizar que siempre hay un trabajo interno ya que nadie te podrá proporcionar el conocimiento que tienes de tus clientes, proveedores, de tal forma que junto con la información recibida por el consultor externo que puede estar muy bien tratada, darle un toque personal a partir de los conocimientos que tú tienes sobre tu entorno para poder tomar las decisiones más adecuadas.

#### **4.1.2. Utilidad.**

Hoy en día con el gran avance que está teniendo las tecnologías de comunicación, información con las herramientas TIC, contamos con muchísima información en dominio público esperando a que la consultemos, lo que pasa que no se sabe dónde mirar, y digamos que es la base de la inteligencia competitiva.

La vigilancia tecnológica para cumplir su función requiere transformar esa información en conocimiento y así llegar al concepto de inteligencia competitiva. Este es un concepto muy relacionado con otros como: *business intelligence*, inteligencia empresarial, inteligencia de negocio, etc. Una empresa que tiene inteligencia competitiva es aquella que transforma la información en conocimiento y así logra obtener ventajas y aprovechar tanto las oportunidades del entorno como las fortalezas internas.

Esta vigilancia tecnológica ayuda a definir los planes estratégicos y por lo tanto saber cuáles son las amenazas y las oportunidades de tu organización, y esta detección siempre que sea a tiempo puede ser una oportunidad, mientras que si es tarde se convertiría en amenaza. Al final lo que se hace es gestionar el riesgo en función de la información que tenga la organización y menos riesgo tendrás a la hora de tomar decisiones.

Como se ha dicho, todo esto lleva un riesgo final, ya que una organización que quiere apostar por una tecnología, por un país, por un sector, debe saber que tiene un riesgo inherente a esa actividad y no es que se elimine el riesgo, sino lo que se hace es minimizarlo, controlarlo e incluso hasta poder medirlo. Pero siempre dependerán un poco de las personas que tome esa decisión y luego como actúen dichas personas.

En lo referente a lo comentado hasta ahora, cabe aclarar que la vigilancia tecnológica estaría dentro del verdadero concepto que es la vigilancia estratégica, a continuación se presenta un documento que da el verdadero valor a las palabras mencionadas.

#### **4.1.3. Procedimiento.**

Pasos básicos a seguir por una empresa que se dedique a elaborar informes de **vigilancia tecnológica**:

1. Identificación de las necesidades de información que tiene la empresa (legislación, eventos, Talleres, información tecnología que se pueda encontrar en artículos técnicos...)
2. Búsqueda de esas necesidades allí donde se encuentre; noticias, bases de patentes, bases de datos privadas, en general cualquier fuente de información que nos permita solucionar esas necesidades de información que tiene la organización.

3. Un análisis con filtrado ya que hay mucha información que es ruido que no sirve de nada y hay que eliminarla.
4. Una vez que se tiene la información contrastada se elabora un formato inteligible para el cliente y se presenta.

#### 4.1.4. Tipos de vigilancia

Michael Porter (1979), de la Universidad de Harvard, ha identificado cinco factores determinantes de la competitividad de las empresas:

1. Nuevos competidores
2. Clientes
3. Proveedores
4. Competidores
5. Productos sustitutivos, que permiten analizar cualquier empresa en términos de rentabilidad.

A partir de estos cinco factores es posible identificar cuatro tipos de Vigilancia que giran en torno a los mismos, que pueden clasificarse como:

- **Vigilancia Tecnológica:** se ocupa de las tecnologías disponibles o que acaban de aparecer, capaces de intervenir en nuevos productos o procesos y el seguimiento de los avances del estado de la técnica, así como de las oportunidades que genera.
- **Vigilancia Competitiva:** se ocupará de la información sobre los competidores actuales y los potenciales (política de inversiones, entrada en nuevas actividades, técnicas de venta y de distribución, política de comunicación), así como de aquellos con productos sustitutivos.
- **Vigilancia Comercial:** estudia los datos referentes a productos, mercados, clientes y proveedores (estudios de mercado, nuevos mercados, evolución de las necesidades de los clientes, solvencia de los clientes, nuevos productos ofrecidos por los proveedores).
- **Vigilancia del Entorno** se ocupa de la detección de aquellos hechos exteriores que pueden condicionar el futuro, en áreas como la sociología, la política, el medio ambiente, las reglamentaciones, y otros.

Por tal motivo la empresa debe decidir sobre qué aspectos debe estar bien informada y cómo manejar esa información para que le permita anticiparse a los cambios, reducir el riesgo en sus decisiones y conseguir los resultados esperados. Para ello, y como punto de partida se proponen los ejes de información ya expuestos sobre los que se centra la Vigilancia:

##### a) Tecnológicos:

- Las tecnologías en que se está investigando (publicando o patentando) en una determinada área.
- Las soluciones tecnológicas disponibles.
- Las tecnologías emergentes que están apareciendo.

- La dinámica de las tecnologías (qué tecnologías se están imponiendo y cuáles se están quedando obsoletas).
- Las líneas de investigación y las trayectorias tecnológicas de las principales empresas que compiten en el área.
- Los centros de investigación, equipos y personas líderes en la generación de nuevas tecnologías, capaces de transferir tecnología.

**b) Competitivos:**

- Análisis y seguimiento de los competidores actuales y potenciales. El destino de sus inversiones, sus productos, circuitos de distribución, tiempos de respuesta, tipo de clientes y grado de satisfacción, su organización, su capacidad financiera, etcétera.
- La cadena de valor del sector, al completo. La situación de la empresa y su fuerza en dicha cadena de valor.

**c) Comerciales:**

- Los mercados.
- Los clientes, la evolución de sus necesidades, su solvencia, etcétera.
- Los proveedores, su estrategia de lanzamiento de nuevos productos, etcétera.
- La mano de obra en el sector y en la cadena de valor.

**d) Entorno:**

- La legislación y normativa, barreras no arancelarias, y otros.
- El medioambiente y la evolución de su cuidado.
- La cultura: detrás de toda decisión hay personas. Política, sociología, y otros.

El término de Vigilancia Estratégica engloba a los distintos tipos de Vigilancia que necesita realizar una empresa. Los resultados que persigue alcanzar la misma pueden clasificarse de la siguiente forma:

**Anticipar:** detectar oportunamente los cambios relevantes en el entorno de la empresa.

**Minimizar Riesgos:** detectar amenazas para la empresa que provengan de nuevos productos, normativas, competidores, etc., y tomar decisiones adecuadas al optar por unas tecnologías u otras.

**Comparar:** reconocer los puntos fuertes y las debilidades frente a la competencia y frente a las necesidades de los clientes.

**Innovar:** identificar oportunidades de mejora e ideas innovadoras en el mercado.

**Cooperar:** detectar oportunidades de cooperación y encontrar los socios más adecuados.

#### 4.1.5. Ciclo de la Vigilancia Tecnológica

Existe un consenso en la literatura consultada sobre las fases que debe seguir el proceso de Vigilancia Tecnológica. A continuación, algunas propuestas de fases ofrecidas por diferentes autores, todas ellas muy similares. Johnson expone que la Vigilancia Tecnológica comprende un conjunto de actividades que se desarrollan regularmente en paralelo, en ocasiones, son ejecutadas por grupos y otras veces individualmente. Las tres etapas que propone son:

##### 1. Recolección de información:

- Objetivo de la búsqueda.
- Inventario de las informaciones y fuentes existentes dentro de la empresa.
- Plan de búsqueda (navegación por Internet, accesos a bases de datos, etcétera).
- Almacenamiento de la información recogida (llenado de bases de datos privadas).

##### 2. Análisis y síntesis:

- Selección y clasificación.
- Análisis (identificación de las grandes tendencias).
- Síntesis (validación de resultados, síntesis textuales y visuales, elecciones estratégicas, preparación de escenarios).

##### 3. Difusión y decisión:

- Presentación de diversos escenarios a los responsables (toma de decisiones).
- Evaluación (seguimiento de las acciones, estudio de los beneficios obtenidos).

Las fases de la Vigilancia Tecnológica según la Norma UNE 166.002 son:

1. Identificación de los factores críticos de Vigilancia, las cuestiones externas a la organización cuya evolución es crucial para su competitividad: tecnologías emergentes, competidores actuales y potenciales, desarrollo de los mercados y del entorno.
2. Identificación de las fuentes o tipos de información relevante para seguir los factores críticos de vigilancia: formales (patentes, prensa, bases de datos, informes, publicaciones) o informales (conversaciones, apuntes, reuniones, congresos, ferias, exposiciones, encuestas, etcétera).
3. Elección de los medios de acceso y seguimiento de las fuentes de información, en muchos casos mediante software especializado o sistemas y servicios automatizados: control de estudios e informes de mercado, vigilancia de prensa, servicios de bases de datos, monitorización y rastreo de Internet, etcétera.
4. Ejecución regular de la búsqueda de información, mediante una estrategia sujeta a revisión constante.
5. Análisis, evaluación y organización, puesta en valor de la información obtenida, para sacar conclusiones útiles a la organización, en muchos casos también mediante software de análisis, tratamiento y presentación de datos.

6. Difusión selectiva de la información elaborada, por los canales y a las personas adecuadas.

Finalmente, Rodríguez (2003) propone en su tesis doctoral su propia síntesis del proceso de Vigilancia Tecnológica en la empresa. Según este autor, el proceso de seguimiento contempla cinco actividades fundamentales:

1. El *scanning* o exploración. Se centra en la revisión continua del entorno a través de un amplio número de fuentes de información, su finalidad es la de descubrir acontecimientos y hechos que pueden influir en el desempeño de la empresa, aun constituyendo estas débiles señales.
2. El *monitoring* o monitoreo. Se caracteriza por su naturaleza investigadora y descubridora. Implica un proceso rutinario de búsqueda, interpretación y acceso a información enfocado hacia áreas seleccionadas para identificar los avances actuales y detectar tendencias. También implica detectar eventos clave y cambios en forma de avisos de alerta roja.

Los participantes en estas etapas deben tener elevadas habilidades de pensamiento lateral que les permitan detectar nuevas soluciones a un problema o deducir posibles efectos de acontecimientos ajenos al área de actividad de la empresa.

3. La investigación y análisis. Consiste en un proceso sistemático enfocado a determinar el impacto potencial de los hechos detectados. Se identifican posibles oportunidades y amenazas para la organización y se proponen recomendaciones al respecto.
4. La difusión de los resultados. La selección de la vía de comunicación de resultados se realiza en función de las necesidades de los usuarios a los que esté dirigido este servicio. Las tres variables clave a considerar son: calidad, oportunidad y tipo de presentación de los resultados.
5. La internalización. El fin último es incorporar los resultados a acciones específicas. Pueden tener un alcance general o puntual en las operaciones de la organización. Se habla de vigilancia táctica en temas concernientes al corto plazo y basados en el conocimiento de actividades de ciencia y tecnologías recientes y actuales, mientras que la vigilancia estratégica se dirige a determinar direcciones generales en el largo plazo.

La combinación de ambos tipos de vigilancia con otras informaciones de negocio contribuye a formar la base de un conjunto de actividades, dirigidas a incrementar la competitividad de la empresa, a través de la mejora continua en productos y procesos. Es a través de un proceso de asimilación de los resultados de la vigilancia donde las empresas adquieren ventajas, desarrollando capacidades científicas y tecnológicas y evitando sorpresas negativas del entorno exterior.

En el ámbito de la Vigilancia, los Mapas Tecnológicos obtenidos a partir del tratamiento de la información contenida en bases de datos de registros y de artículos técnicos, son una potente herramienta para el análisis de las tendencias tecnológicas. Pero los resultados que ofrecen no son suficientes para la toma de decisiones en la empresa si no se pueden enlazar con el comportamiento del mercado. Si bien se han definido ya metodologías para

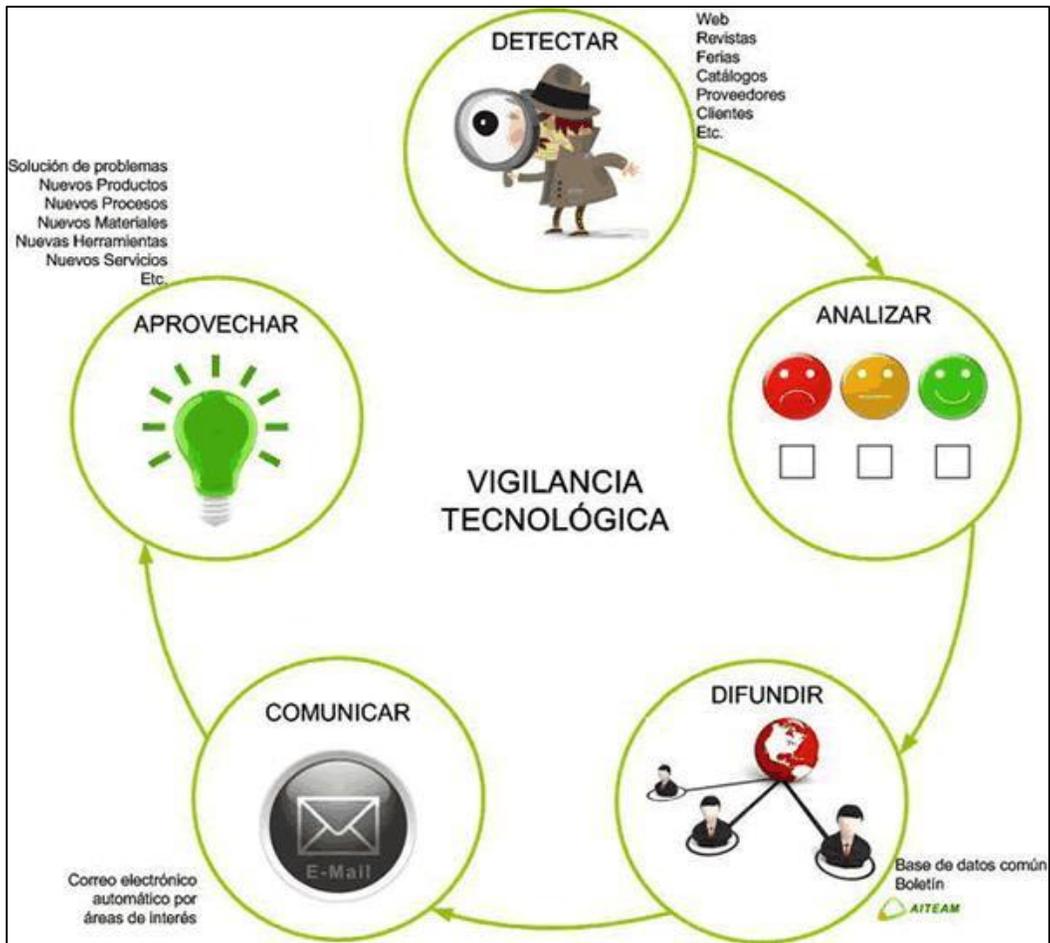


Figura 51: Esquema de Vigilancia Tecnológica.

#### 4.1.6. Fuentes principales de información para desarrollar una adecuada Vigilancia Tecnológica.

En un proceso de vigilancia tecnológica se deben seleccionar fuentes de información y mantener una alerta informativa sobre los siguientes temas:

- Novedades en legislación, normativas y jurisprudencia relacionadas con la actividad de la empresa, el mercado, la competencia, los clientes y los proveedores.
- Noticias sobre avances científicos y tecnológicos.
- Patentes, diseños industriales y modelos de utilidad que tengan interés para la empresa. Se deberán analizar las novedades nacionales e internacionales.
- Información sobre convocatorias de ayudas y subvenciones (proyectos I+D, etc.) por las distintas instituciones públicas o privadas.
- Ferias profesionales: presentación de nuevas tecnologías y productos.
- Nuevos productos aparecidos en el mercado.
- Innovaciones de la competencia.
- Productos, precios, distribución y calidades que ofrecen los competidores.

- Publicaciones científicas (tesis doctorales, preprints, comunicaciones, artículos, etc.) que introduzcan novedades de nuestro interés.
- Proyectos de investigación desarrollados por instituciones científicas.
- Fusiones y alianzas de la competencia y los proveedores.
- Noticias sectoriales.
- Tendencias de mercado y consumidores.
- Estudios de prospección.
- Congresos científicos relacionados con nuestra actividad: establecer agenda de congresos nacionales e internacionales de interés y con posterioridad recopilación de actas con las comunicaciones presentadas.

la elaboración de mapas tecnológicos, hasta el momento se ha avanzado poco en estudiar su vinculación con el mercado; por ello, esta tesis pretende dar una visión de conjunto sobre la aplicación de los mapas y su relación con los análisis del mercado para la detección de oportunidades tecnológicas competitivas.

#### **4.2. Mapas Tecnológicos.**

En la última década se ha avanzado considerablemente en la elaboración de los denominados mapas tecnológicos, representaciones visuales del estado de la tecnología en un ámbito o área determinados. Los mapas presentan gráficamente, de forma sintética, las tecnologías en que se ha investigado más y, en consecuencia, publicado y patentado más en un período determinado. Permiten también detectar aquellas tecnologías emergentes que están experimentando una rápida expansión mediante la comparación con mapas correspondientes a períodos anteriores.

La elaboración de estos mapas ha sido posible por una serie de causas. Por un lado, la creciente disponibilidad de bases de datos cada vez más especializadas, completas y de más fácil acceso. Algunas bases de datos importantes son: Science Citation Index, Chemical Abstracts (química), Medline (medicina), Compendex (ingeniería), Inspec (electricidad y electrónica), WPI (World Patent Index, gestionada por la empresa Derwent que contiene información sobre patentes), EPAT (patentes europeas), CIBEPAT (patentes españolas y latinoamericanas), CINDOC/CSIC (publicaciones españolas sobre Ciencia y Tecnología, Medicina, Ciencias Sociales y Humanas), Dacyted (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología), etc.

Por otra parte, los progresos de la cienciometría y la bibliometría han aportado las bases teóricas para el tratamiento de la información contenida en estos bancos de datos. La cienciometría puede definirse como "*el conjunto de estudios que tratan de cuantificar el proceso de la comunicación escrita y la naturaleza y evolución de las disciplinas científicas mediante el recuento y análisis de diversas características de dicha comunicación*" (Amat, 1994).

La cienciometría se basa en el análisis y cómputo de determinados indicadores bibliométricos: autores de artículos, autores citados, palabras clave, palabras contenidas en los artículos (títulos, resúmenes, etc.). Mediante el recuento de estos indicadores se puede determinar (Sancho, 1990):

- a) Tecnologías estratégicas
- b) Empresas más importantes
- c) Relaciones entre investigación y tecnología
- d) Dinámica tecnológica
- e) Identificación de las competencias esenciales de un competidor
- f) Identificación de oportunidades
- g) Alianza estratégica.

Sin embargo, para la elaboración de los mapas no es suficiente el recuento de los indicadores anteriores sino que se requiere un nuevo concepto: el análisis de la coocurrencia de palabras (co-word), que estudia la aparición conjunta de dos o más palabras en campos tales como títulos, resúmenes o palabras clave.

Existen otras posibilidades de análisis de coocurrencias que pueden ofrecer también resultados muy reveladores: coocurrencias entre palabras clave de productos y/o tecnologías y empresas (que permite detectar en que productos y/o tecnologías trabajan las empresas de un sector), empresas-grupos de patentes (para conocer las áreas en que está patentando cada empresa), productos/tecnologías-grupos de patentes, palabras clave-países, etc.

Con frecuencia el análisis de un área tecnológica requiere el tratamiento de la información contenida en miles de registros, No es posible entonces el tratamiento manual de la información, tanto de los recuentos como de las coocurrencias, por lo que debe recurrirse al uso de programas informáticos apropiados que permitan elaborar listas o matrices entre elementos de uno o varios campos. Estos programas permiten dar respuesta a preguntas como, por ejemplo, cuáles son los autores principales en un área, cuáles son las empresas o particulares que patentan más, cuáles son las redes principales que trabajan en una tecnología, etc.

#### **4.2.1. Conceptualización y características de los Mapas Tecnológicos.**

Una manera para estar atento a los cambios del entorno de forma sistemática, es a través de la práctica de la Vigilancia Tecnológica (VT) y la Inteligencia Competitiva (IC), que se define como un proceso sistemático en el que se capta, analiza y difunde información de diversa índole —económica, tecnológica, política, social, cultural, legislativa—, mediante métodos legales, con el ánimo de identificar y anticipar oportunidades, amenazas o riesgos, para mejorar la formulación y ejecución de la estrategia en las organizaciones (SÁNCHEZ TORRES, 2005).

Según Kappel (2001) citado por Villegas (2005) en el entorno empresarial, las empresas deben tener mayor capacidad de respuesta al avance de la tecnología y al manejo de activos tecnológicos de manera más estratégica. Asimismo, la difusión de programas de planeación, la integración de la tecnología y el uso iterativo de activos en las diferentes líneas de productos frecuentemente carecen de una estructura coordinada que involucre a todos los actores. Se han propuesto diferentes soluciones para alinear las expectativas tecnológicas con las expectativas del negocio.

Otros autores como Phaal (2003), Albright (2003), Kappel (2001) y Kostoff (2001), citados por Villegas (2005) consideran el mapeo tecnológico como una propuesta metódica para integrar la planeación tecnológica con la visión del negocio.

En los últimos años, según Escorsa y Maspons (2000) citado por Escorsa y Valls (2005), se ha avanzado considerablemente en la elaboración de los denominados mapas

tecnológicos, y los definen como representaciones visuales del estado de la tecnología en un ámbito o área determinados. Los mapas presentan gráficamente, de forma sintética, las tecnologías en que se ha investigado más y, en consecuencia, publicado y patentado más en un período determinado. Permiten también detectar aquellas tecnologías emergentes que están experimentando una rápida expansión mediante la comparación con mapas correspondientes a períodos anteriores.

Los mapas como herramienta, puede convertirse en un recurso dinámico con entradas de información y salidas de productos, que actúan como insumos para la gestión de la estrategia tecnológica.

El alcance del levantamiento de un mapa tecnológico, permite el análisis de la importancia relativa de los diferentes sistemas vinculados a los servicios, así como el estado de integración de las diferentes tecnologías y subtecnologías, entre las diferentes áreas (identificación interna). Refleja a su vez, el comportamiento de dichas tecnologías y subtecnologías medulares y de apoyo, frente al estado del arte identificado a nivel mundial (identificación externa). En este sentido, se convierte en una herramienta muy útil para identificar el diagnóstico tecnológico de las áreas que requerirán de actualización tecnológica y la introducción de nuevas metodologías de gestión empresarial en aras de una buena toma de decisiones.

Los objetivos de los mapas tecnológicos se pueden resumir en: a) identificar y definir las transformaciones requeridas para sus diferentes sistemas y subsistemas de tecnología de operación y de apoyo; b) referenciar las tecnologías que se utilizan; c) diagnosticar interna y externamente el estado del arte de esas tecnologías a nivel mundial; d) caracterizar los diferentes perfiles tecnológicos y de innovación tecnológica requeridos para la integración de los proyectos actuales y futuros de ese orden en la empresa y e) proponer una cartera de proyectos de tecnología blanda, venta de conocimientos y tecnología dura, desarrollo e innovación de nuevas tecnologías, que posibiliten el desarrollo de nuevas alternativas de servicios y de apoyo al desarrollo tecnológico.

De acuerdo con Kostoff y Schaller (2001) citado por Villegas (2005), es posible establecer una clasificación de los tipos o categorías de mapas tecnológicos. Según él, ambos autores establecen la siguiente taxonomía en base las aplicaciones independientes que éstos pueden adoptar:

- a) Mapas tecnológicos de ciencia y de tecnologías emergentes,
- b) Mapas tecnológicos industriales,
- c) Mapas tecnológicos corporativos o de producto–tecnología,
- d) Mapas tecnológicos para el manejo de productos o portafolios.

Villegas (2005) establece que diferentes compañías han desarrollado muchos tipos de mapas, con forma particular que depende del propósito, pero otro factor que contribuye a la variedad de mapas tecnológicos es el formato gráfico que se seleccione para comunicar los resultados del proceso de mapeo tecnológico; siendo el tipo más común similar a la representación gráfica basada en el tiempo, con capas múltiples en el que se registra la evolución del mercado, producto y tecnología mediante ligas entre elementos de las capas.

En este sentido, Escorsa y Maspons (2001) citados por Escorsa y Valls (2005) plantean que los pasos necesarios para la elaboración de un mapa tecnológico son:

- a) Determinación de la estrategia de búsqueda conjuntamente con un experto en la materia (que asesora sobre revistas que cubren el área, palabras clave, etc.)
- b) Selección de las bases de datos que cubren mejor el área objeto del estudio.
- c) Descarga de los ficheros en el ordenador.
- d) Homogeneización de la información, que tenga en cuenta las especificidades de cada base y cada formato.
- e) Construcción del descriptor de la base de datos, que retiene únicamente los campos que se utilizarán posteriormente.
- f) Depuración de la información (confección de un diccionario de sinónimos, eliminación de registros duplicados).
- g) Obtención de los mapas tecnológicos.

#### 4.2.2. Definición de mapa tecnológico:

La estrategia de expansión de una empresa no se puede dirigir mediante corazonadas; la estrategia de desarrollo de una empresa debe estar sustentada y corroborada mediante información de todas las posibilidades en las que se tienen oportunidades de crecimiento.

Un mapa tecnológico o Road Map en inglés, es la representación visual de un estado tecnológico en un sector en específico o en una determinada empresa “Presentación: Mapas Tecnológicos, Cáseres Velasco Juan Carlos, Prezi, 2013” esta representación gráfica nos muestra todo tipo de tecnologías que participan dentro de la industria y nos permite diferenciar entre ellas dadas sus múltiples cualidades.



**Figura 52:** Objetivos de los Mapas Tecnológicos

Estos mapas tecnológicos tienen por objeto, identificar, evaluar, hacer un balance de las tecnologías existentes, identificar nuevas Patentes, Tecnologías emergentes, determinar cuáles son obsoletas dentro de la práctica, encontrar oportunidades de desarrollo de una nueva tecnología, y aquellas que ya están triunfando y se están aplicando con éxito.

Dada su naturaleza, los mapas tecnológicos brindan a la gestión de proyectos diferentes panoramas de la tecnología que es aplicable dentro de su área de trabajo, por lo cual le brinda al proyecto una mejor dirección de trabajo lo que finaliza en un proyecto exitoso.

#### **4.2.3. Metodología.**

La metodología propuesta para la construcción de mapas tecnológicos inicia con la búsqueda exhaustiva de información representada en artículos técnicos, académicos y en bases de datos bibliográficas y de patentes. En este punto se hace necesario establecer factores de búsqueda y criterios de selección para poder determinar cuál es la información valiosa para el estudio.

El propósito de esta primera búsqueda de información es fundamentalmente el de identificar los factores claves relacionados con los conceptos de búsqueda, identificar las coocurrencias y definir la proximidad o la distancia entre ellas. Estos dos pasos iniciales hacen parte de lo que sería la VT inicial del problema a resolver.

Posteriormente se define la segunda fase de la metodología que consiste en una yuxtaposición entre lo encontrado en la fase de VT y las opciones actuales que presenta el mercado. A partir de este análisis se identifican los diferentes gaps o brechas existentes. El producto arrojado por esta fase servirá como sustento para la formulación del análisis de prospectiva.

La última fase de la metodología constituye un análisis de tendencias futuras. En este se determina a partir del estado actual del mercado y de la organización y el análisis de tendencias de la tecnología analizada el conjunto de pasos necesarios o etapas para alcanzar un estado ideal en el futuro.

#### **4.2.4. Conceptos que conforman un Mapa Tecnológico:**

Para la realización de un mapa tecnológico, es necesario comprender los siguientes conceptos del cual está formado:

**Tecnología:** Es el conjunto de conocimientos ordenados que nos permite optimizar la técnica de una actividad; está fundamentada en un método que va cambiando con el tiempo.

**Tecnología Temprana o Emergente:** Es aquella tecnología que está en una etapa inicial, y dado su corto tiempo solo se ha probado bajo condiciones precisas, ya que fue creada para satisfacer una necesidad; por lo mismo se conoce muy poco acerca de su potencial de aplicarlo en otras condiciones, así como de su impacto comercial y ecológico. Esta tecnología no tiene en la industria más de 15 años.

**Tecnología Comercial:** En esta etapa, la aplicación de la tecnología para su propósito inicial fue exitosa, es en este nivel de madurez es donde se empieza a pensar en las aplicaciones bajo otras condiciones; es donde la tecnología vive una etapa de investigación que fortalece los métodos necesarios y mejora otros, estos dependiendo de las nuevas condiciones a las que se esté orientando, es decir, la tecnología empieza a sufrir una transformación para establecerse en los nuevos mercados, y se empiezan a establecer límites o restricciones de esta tecnología, sin embargo, para los mercados que tienen condiciones similares a las que fue creada, empiezan a utilizarla, es donde empieza a tener un valor comercial.

También en esta etapa se empieza a tener por primera vez conocimiento de los impactos negativos o positivos del uso de esta tecnología así como se empiezan a elaborar las estrategias de uso de esta nueva tecnología que está surgiendo en el mercado.

**Tecnología Madura o Actual:** Refiere a aquella tecnología que ha sido probada bajo una gran cantidad de condiciones, se tienen bien caracterizados los cambios que sufrió la tecnología para poder pasar de su etapa embrionaria a la comercial, además de que se conocen con una mayor certeza los impactos que genera el uso de esta tecnología en otras áreas; Las estrategias de uso son diferentes entre mercados diferentes, se tiene certeza del origen de las restricciones y de sus límites; el valor comercial se empieza a comportar de manera más estable, y es en esta etapa donde alcanza su pico comercial.

Existen ya pocas investigaciones de su aplicación, ya que en esta etapa la tecnología se colocó bajo todas condiciones disponibles y ya no se presentan los retos de aplicarla en otras condiciones.

**Tecnología Obsoleta:** Se dice que algo es obsoleto cuando es anticuado o es inadecuado bajo las circunstancias actuales “Diccionario de la Real Academia Española en línea”, una tecnología empieza a presentar esta condición cuando se conocen sus límites de aplicación, y el mercado se ve en la necesidad de complementar esos límites; temporalmente surge otra tecnología que no considera los límites previstos en la tecnología anterior; en consecuencia la primera tecnología empieza a bajar su uso en el mercado hasta el desuso total.

Otro ejemplo para que una tecnología sea obsoleta, es que el impacto dentro de otras áreas bajo su uso constante afecte áreas de seguridad, salud y medio ambiente; en este caso la obsolescencia no llega por el límite implícito de una tecnología, si no por los cambios perjudiciales que presenta su uso, bajo los reglamentos y normativas de la zona geográfica donde se esté usando.

#### **4.2.5. Proceso de realización de un Mapa Tecnológico:**

##### **-Diseño de búsqueda:**

Como un primer paso se debe tener en cuenta un panorama general de la industria o del campo en el que se quiere realizar un mapa tecnológico; además del objetivo de la realización del mapa: ¿Qué es lo que se quiere mostrar?, ¿Qué es lo que queremos resolver? y ¿cómo podemos hacerlo? Son preguntas que un mapa tecnológico tiene que contestar.

Una vez establecidas las respuestas se tiene un primer acercamiento al el objetivo del mapa, se analiza y refina para poder iniciar la búsqueda inteligente con los conceptos precisos.

#### **4.3. Bibliometría.**

Inmersos en un mundo donde la información está al alcance de un “clic” debemos ser cautos a la hora de citar un documento o a un autor, ya que al hablar de tecnologías podríamos caer en el error de citar a un autor cuya tecnología no pudiera ser aplicable, es por eso que la búsqueda y el uso de la información debe de seguir una metodología propia.

Para este proyecto de tesis, se decidió hacer uso de Bibliometría para poder tener un mejor control acerca de los datos, reportes, citas y documentos científicos acerca del GAMC y GMC, a continuación se definirá que es la Bibliometría.

La Bibliometría se centra en el estudio del cálculo y en el análisis de los valores de lo que es cuantificable en la producción y en el consumo de la información científica (Lopez Piñero 1972; Spinak 1996), y está fundamentada en la búsqueda de comportamientos estadísticamente regulares a lo largo del tiempo en los diferentes elementos relacionados con la producción y el consumo de la información científica. (Citar el autor del libro breve introducción a la Bibliometría), es decir, con el apoyo de esta ciencia, se puede tener un cálculo más certero de que citas, documentos y autores científicos más consultados para cierto tema, esto es de gran ayuda para este proyecto de tesis cuyo objetivo es saber cuáles son las tecnologías ocupadas dentro de los desarrollos de GAMC y GMC, de esta manera con ayuda de la Bibliometría es más fácil una búsqueda inteligente y enfocada a objetivos.

#### **4.3.1. Leyes de la Bibliometría.**

##### **-Ley de la productividad de los autores:**

Enuncia la relación que existe entre el número de publicaciones de un autor en un determinado tiempo.

##### **-Ley de la dispersión:**

Bibliográfica: Un efecto que existe dentro del rastreo de una cita u información, es que no todas las publicaciones son igual de consultadas, solo cierta parte de publicaciones acaparan el consumo.

##### **Ley de Crecimiento exponencial:**

El científico Derek J. de Solla Price (1956) determinó que la producción de la información científica se producía de manera exponencial, es decir, que se duplicaba pasada una década, definiendo el crecimiento en tres etapas:

- Precursores: Primeras publicaciones
- Exponenciales: Publicaciones a detalle
- Lineales: Publicaciones cuyo objetivo es la revisión y el archivo de conocimiento

##### **Ley de Obsolescencia Bibliográfica:**

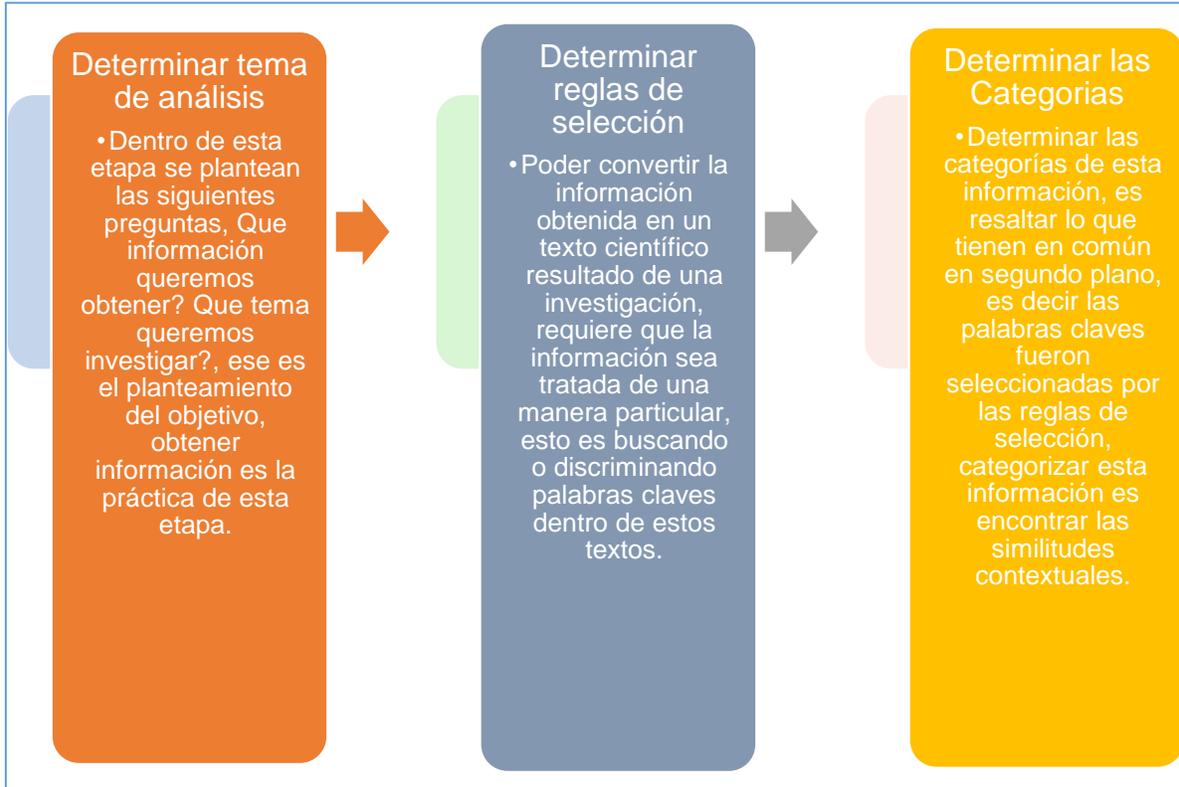
Expone que la información pasado determinado tiempo es obsoleta, este tiempo puede determinarse como la media de la fecha de las publicaciones. Cabe destacar que para cada campo de investigación el tiempo no es el mismo; es decir en el ramo científico y tecnológico las publicaciones se vuelven obsoletas de forma más rápida que las áreas de ciencias sociales.

#### **4.4. Tratamiento de la información obtenida.**

##### **Análisis de contenido**

El análisis de contenido es una técnica de interpretación de información en cualquier tipo que esta se encuentre, donde la relación que existe entre cada fuente de información diferente y un tema, es el principal objetivo, tal como lo cita Berelson (1952 p.18) Es una técnica de investigación para la descripción objetiva, sistemática y cuantitativa del contenido manifiesto de la comunicación.

El análisis de contenido se divide en las siguientes etapas como lo muestra el la siguiente tabla:



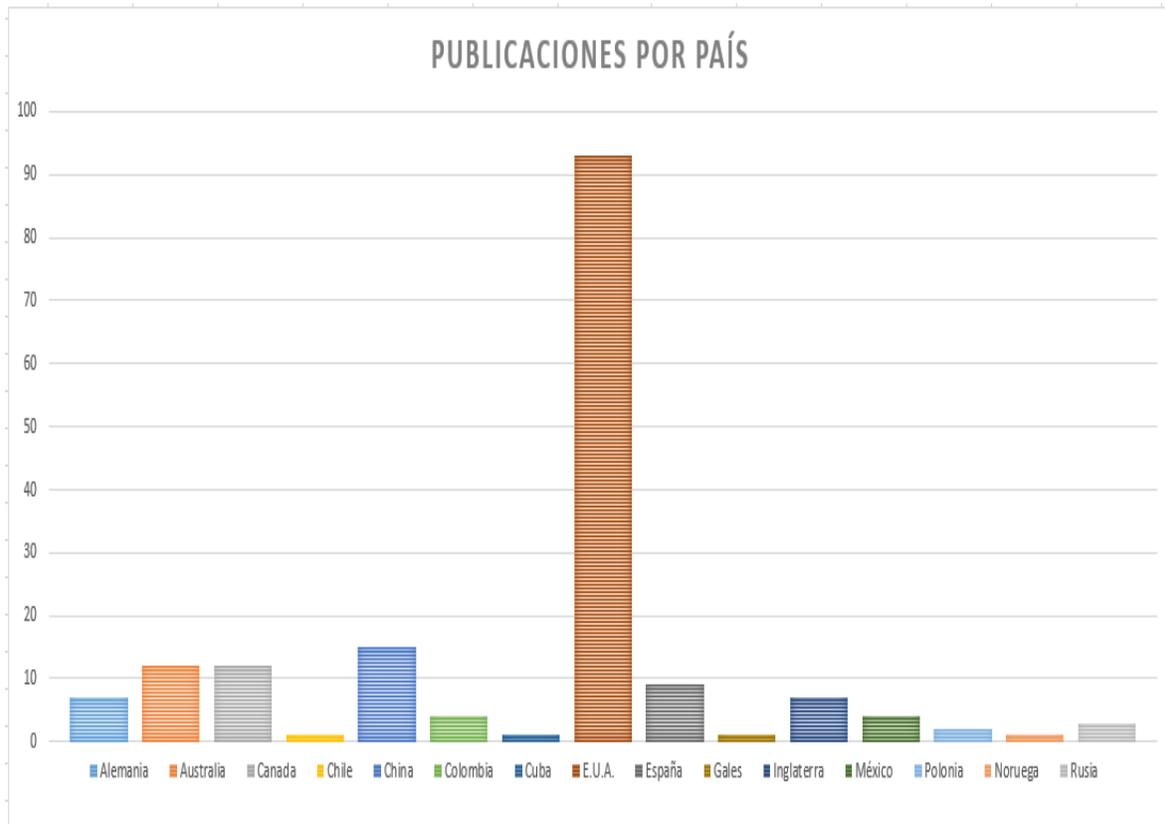
**Tabla 13:** Proceso de análisis de contenido

Esto es también un análisis de co-ocurrencia, esto es identificar que tan frecuente un concepto es acompañado de otro.

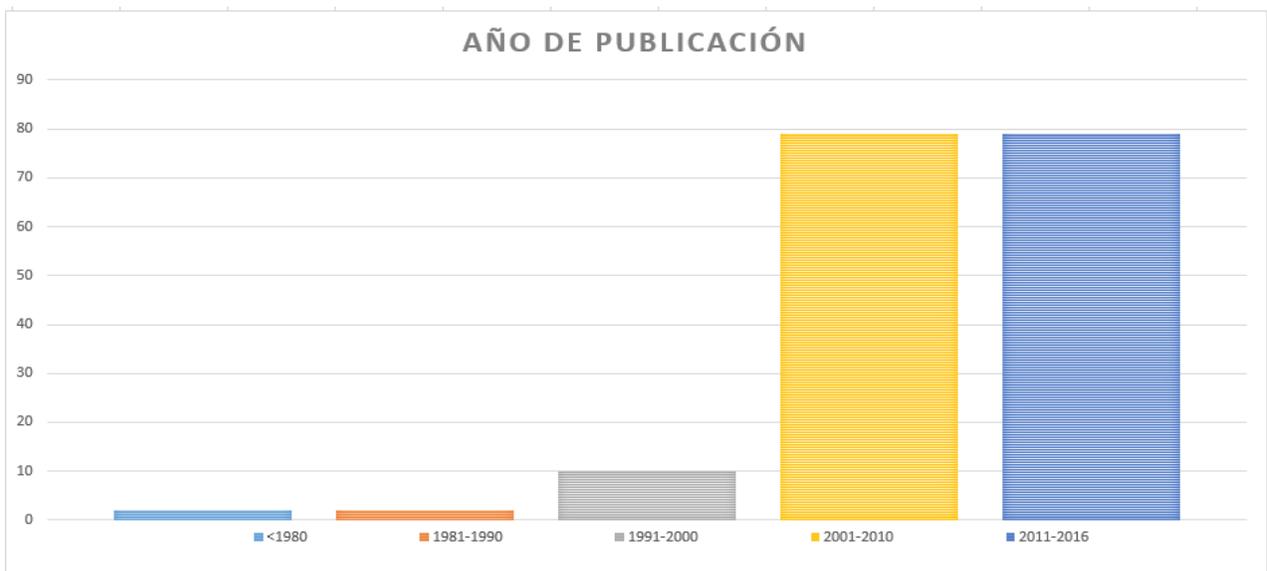
Una vez categorizado el tema principal de estudio, podemos iniciar la construcción del mapa tecnológico.

Como resultado de la investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

Se obtuvo un total de 172 referencias bibliográficas consultadas distribuidas de la siguiente manera:



**Figura 53:** Distribución de referencias por país (Elaboración Propia).



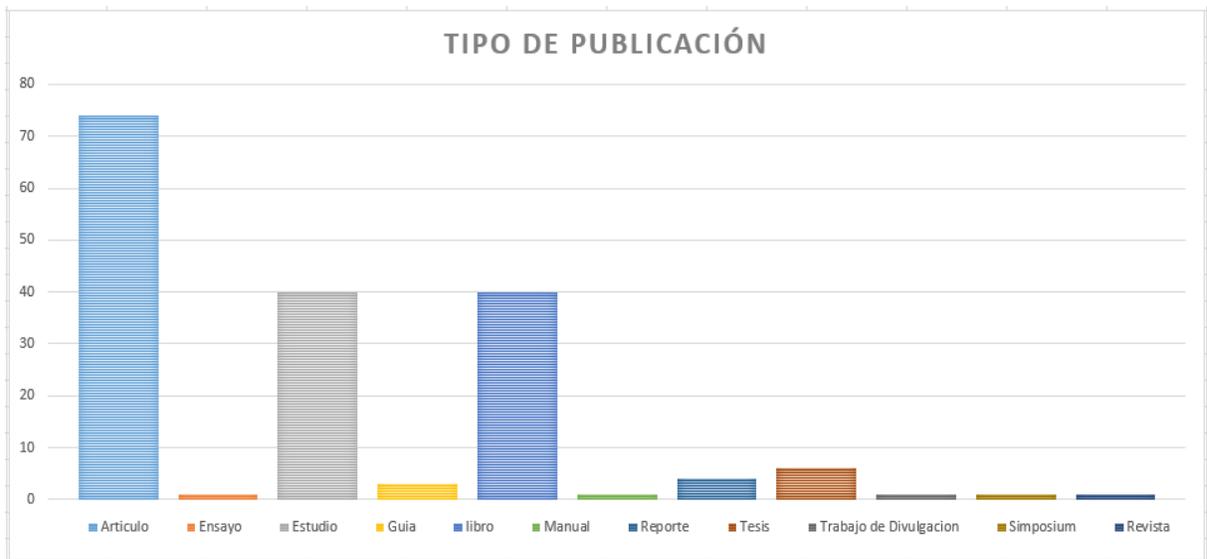
**Figura 54:** Distribución de referencias por año de publicación (Elaboración Propia).



**Figura 55:** Distribución de referencias por Clasificación (Elaboración Propia).

Con respecto a la figura 55; las claves que se muestran corresponden de la siguiente manera:

Clave	Tema
VT	Vigilancia Tecnológica
MT	Mapa Tecnológico
GAMC	Gas Asociado a las Mantos de Carbón
GMC	Gas en Minas de Carbón



**Figura 56:** Distribución de referencias por Tipo de Publicación (Elaboración Propia).

Es necesario recalcar que la experiencia fuera de los Estados Unidos, China, Canadá y Australia es prácticamente nula, por lo que la mayor parte de las fuentes de información tratadas proceden de estos países, tal como se puede ver en nuestros resultados obtenidos y plasmados en los gráficos.

También debe tomarse en cuenta que el desarrollo tecnológico en torno a las extracciones de gas asociado a los mantos de carbón es rápido, por lo que algunos de los aspectos que se mencionan en esta tesis, pueden ser superados en un futuro próximo.

La vigilancia tecnológica para ambos desarrollos se muestran en los siguientes dos capítulos (5 y 6 respectivamente), los cuales muestran las tecnologías disponibles, tanto emergentes como actuales para proyectos de aprovechamiento de gas asociado a los mantos de carbón.

#### **4.5. Construcción del Mapa Tecnológico:**

A continuación se muestran los mapas tecnológicos de cada uno de los desarrollos para el aprovechamiento de gas metano los cuales son GMC (Figura 57) y GAMC (Figura 58).

MAPA TECNOLÓGICO DE GMC.

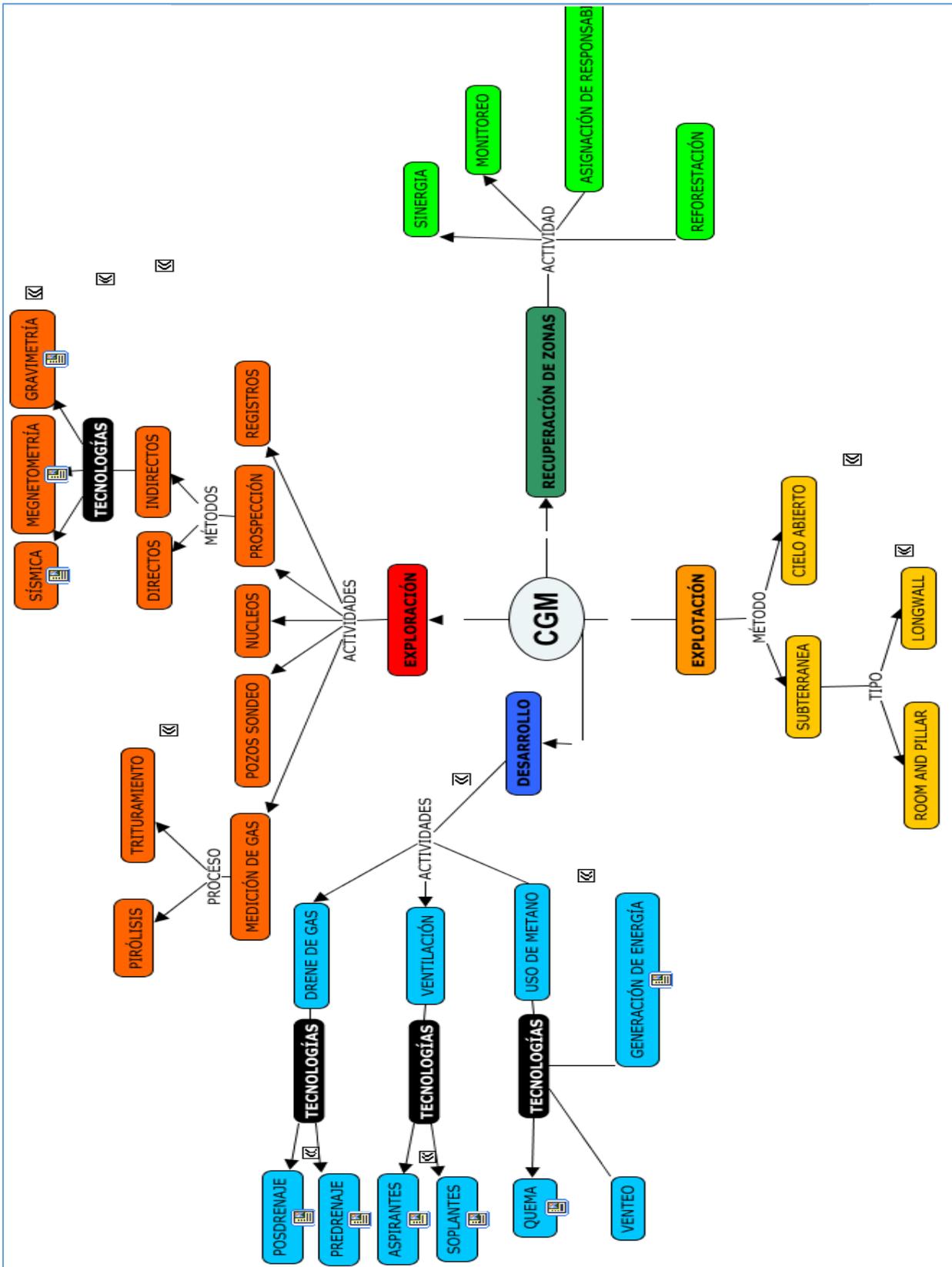


Figura 57: Mapa Tecnológico de GMC (Elaboración propia)

MAPA TECNOLÓGICO DE GAMC

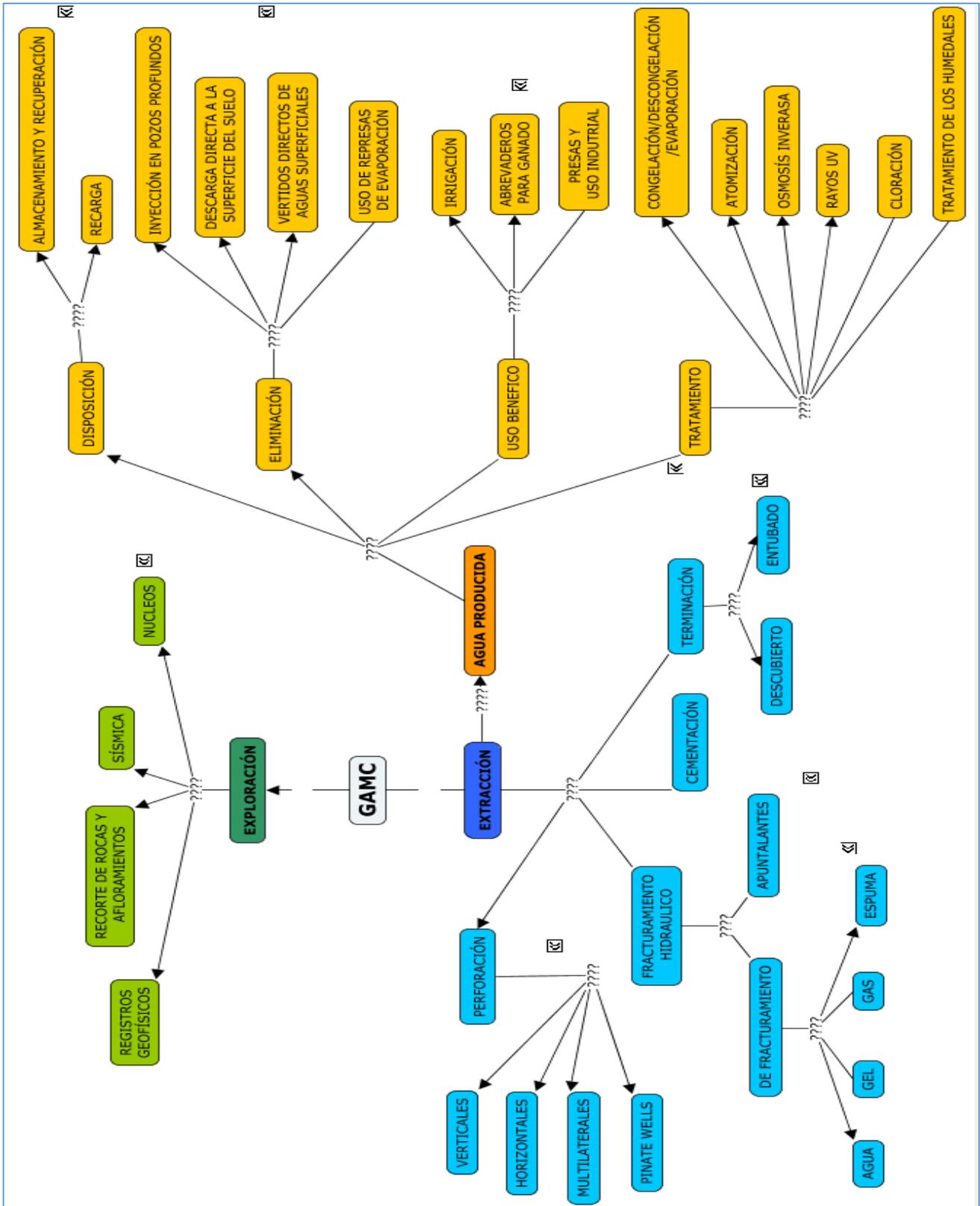


Figura 58: Mapa Tecnológico de GAMC (Elaboración propia)

## 5. Vigilancia Tecnológica GMC.

### 5.1 Tecnología de Quemadores:

#### E&M Combustion

##### Quemadores ATEX y Nec:

Este tipo de quemadores se apegan en sus procesos así como en su instalación en zonas con clasificación antiexplosiva a la normativa ATEX como NEC.

La fabricación de este tipo de quemadores ATEX y NEC, es cada vez más solicitada por normativas y en algunos países es prácticamente de uso obligatorio industrias como la minería, refinerías, plantas petroquímicas, plantas de generación de electricidad, etc.



Figura 59: Quemadores tipo ATEX Y Nec (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

Área	Valoración
Empresa	E&M COMBUSTION
País de Origen	ESPAÑA
Modelo	ATEX Y Nec
Contacto	<a href="http://emcombustion.es/contacto/">http://emcombustion.es/contacto/</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE
Temperatura Máxima en Sup.	450°C
Potencia	NE

Tabla 14: Características de modelo tipo ATEX y Nec

#### Quemadores de Baja Temperatura

##### JBM:

Tecnología de nueva generación para todo tipo de combustibles líquidos y gaseosos. La gama estándar incluye quemadores industriales para combustibles tradicionales como

gasóleo, gas natural y G.L.P., fuel oil y quemadores industriales mixtos gas-gasóleo y gas-fuel oil.



Figura 60: Quemadores tipo JBM (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

Área	Valoración
Empresa	E&M COMBUSTION
País de Origen	ESPAÑA
Modelo	JBM
Contacto	<a href="http://emcombustion.es/contacto/">http://emcombustion.es/contacto/</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas (X,Y,Z)(m)	1.96,1.12, 1.35
Temperatura máxima en Sup.	NE
Potencia (MW)	1 - 14

Tabla 15: Características de modelo tipo JBM

### JBM-HP

Quemadores JBM-HP de nueva generación para todo tipo de combustibles líquidos y gaseosos. La gama estándar incluye quemadores industriales para combustibles tradicionales como gasóleo, gas natural y G.L.P., fuel oil y quemadores mixtos gas-gasóleo y gas-fuel oil.

Este tipo de quemadores están preparados para vencer altas sobrepresiones de cámara de combustión.

Esta tecnología ha sido ya instalada en México; 3 quemadores monobloc JBM-HP-6000-G de gas natural para zona clasificada NEC, Class I, Div 1, para planta procesadora de gas que se encuentra en el estado de tabasco.



Figura 61: Quemadores tipo JBM-HP (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

Área	Valoración
Empresa	E&M COMBUSTION
País de Origen	ESPAÑA
Modelo	JBM-HP
Contacto	<a href="http://emcombustion.es/contacto/">http://emcombustion.es/contacto/</a>
Tecnología	ACTUAL
Medidas (X,Y,Z)(m)	1.250, 1.650, 2.525
Temperatura máxima en Sup.	NE
Potencia (MW)	2 - 24

Tabla 16: Características de modelo tipo JBM-HP

### JBD

Quemadores industriales de nueva generación para todo tipo de combustibles líquidos y gaseosos. La gama estándar incluye quemadores industriales para combustibles tradicionales como gasóleo, gas natural y G.L.P., fuel oil y quemadores mixtos gas-gasóleo y gas-fuel oil, estos quemadores están preparados para vencer altas sobrepresiones de cámara de combustión.



Figura 62: Quemadores tipo JBD (Fuente: <http://emcombustion.es/contacto/>)

Área	Valoración
Empresa	E&M COMBUSTION
País de Origen	ESPAÑA
Modelo	JBM-HP
Contacto	<a href="http://emcombustion.es/contacto/">http://emcombustion.es/contacto/</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas (X,Y,Z)(m)	1.6, 1.7, 1.8
Temperatura máxima en Sup.	400 °C
Potencia (MW)	8.5-14

Tabla 17: Características de modelo tipo JBD

### Industrial Combustion

#### Serie D

Rango de entrada 4.2 a 42 btu, con bajas emisiones alrededor de 30 ppm con FGR.



Figura 63: Quemadores serie D

Área	Valoración
Empresa	IC MEGA INTERNATIONAL GROUP; FILIAL:INDUSTRIAL COMBUSTION
País de Origen	VENEZUELA
Modelo	SERIE D
Contacto	<a href="http://icmega.com/es/contacto/">http://icmega.com/es/contacto/</a>
Tecnología	ACTUAL
Medidas	NE
BTUs de entrada (MMBTU)	4.2 - 42
Emisiones (PPM)	30

Tabla 18: Características de modelo Serie D

### Serie XL

Combustión de gas y aceite con 38-63 btu y 270-450 btu respectivamente, bajo en nox



Figura 64: Quemadores tipo XL

Área	Valoración
Empresa	IC MEGA INTERNATIONAL GROUP; FILIAL:INDUSTRIAL COMBUSTION
País de Origen	VENEZUELA
Modelo	SERIE XL
Contacto	<a href="http://icmega.com/es/contacto/">http://icmega.com/es/contacto/</a>
Tecnología	ACTUAL
Medidas	NE
BTUs de entrada (MMBTU)	38 - 63
Emisiones (PPM)	30

Tabla 19: Características modelo XL

## 5.2 Tecnología de perforación.

### Atlas Copco

#### Simba 1254

Perforación de martillo en cabeza, funciona dependiendo su potencia desde 18 a 25 Kilovatios, el diámetro de pozo varía de 51 a 89 mm.



**Figura 65:** Perforadora Simba 1254 (Foto de Atlas Copco Mexicana SA de CV)

Área	Valoración
Empresa	ATLAS COPCO
País de Origen	SUECIA / FILIAL: MEXICANA
Modelo	SIMBA 1254
Contacto	Atención a Clientes Minería y Excavación de Roca; Atlas Copco Mexicana SA de CV; gerardo.juarez@mx.atlascopco.com
Tecnología	ACTUAL
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	150 Horizontales/ 50 Verticales
Movilidad	FIJA

**Tabla 20:** Características modelo Simba 1254

#### Simba 1354

Perforación de martillo en cabeza, funciona dependiendo su potencia es de 25 Kilovatios, el diámetro de pozo varia de 51 a 89 mm.

A continuación se muestra la imagen y una tabla con los datos más sobresalientes de esta perforadora.



**Figura 66:** Perforadora Simba 1354 (Foto de Atlas Copco Mexicana SA de CV)

Área	Valoración
<b>Empresa</b>	ATLAS COPCO
<b>País de Origen</b>	SUECIA / FILIAL: MEXICANA
<b>Modelo</b>	SIMBA 1354
<b>Contacto</b>	Atención a Clientes Minería y Excavación de Roca; Atlas Copco Mexicana SA de CV; gerardo.juarez@mx.atlascopco.com
<b>Tecnología</b>	ACTUAL
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad Max. (m)</b>	200
<b>Movilidad</b>	SOBRE RUEDAS

**Tabla 21:** Características modelo Simba 1354

### Simba E7 C-IHT

Perforación de martillo en cabeza, funciona dependiendo su potencia es de 25 Kilovatios, el diámetro de pozo varía de 95 y 178 mm, es de movilidad de ruedas.



**Figura 67:** Perforadora Simba E7 C-IHT (Foto: Atlas Copco Mexicana SA de CV)

Área	Valoración
Empresa	ATLAS COPCO
País de Origen	SUECIA / FILIAL: MEXICANA
Modelo	SIMBA 1354
Contacto	Atención a Clientes Minería y Excavación de Roca; Atlas Copco Mexicana SA de CV; gerardo.juarez@mx.atlascopco.com
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	300
Movilidad	SOBRE RUEDAS

Tabla 22: Características modelo Simba E7 C-IHT

### Gefco

500k

Sistema de perforación rotativa y de acoplamiento hidráulico.



Figura 68: Perforadora 500k (Foto: <http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico>)

Área	Valoración
Empresa	GEFCO MÉXICO
País de Origen	MÉXICO
Modelo	500K
Contacto	<a href="http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico">http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico</a>
Tecnología	ACTUAL
Medidas (m)	10x8

<b>Profundidad Max. (m)</b>	400
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 23:** Características modelo Simba 500k

**200 k**

Sistema de perforación rotativo y de acoplamiento hidráulico con 21m de altura. Trabaja a máxima con 140fpm.



**Figura 69:** Perforadora 200k (Foto: <http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico>)

Área	Valoración
<b>Empresa</b>	GEFCO MÉXICO
<b>País de Origen</b>	MÉXICO
<b>Modelo</b>	200K
<b>Contacto</b>	<a href="http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico">http://mx.gefco.net/es/gefco-mexico</a>
<b>Tecnología</b>	ACTUAL
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad Max. (m)</b>	400
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 24:** Características modelo Simba 200k

**JoyGlobal  
CMM 2**

Sistema de perforación rotativa, tiene movilidad mediante cadenas, especial para mina subterránea de accionamiento hidráulico, el diámetro de pozo que puede manejar es desde 89 a 165 mm.



**Figura 70:** Perforadora CMM 2 (Foto: <http://www.joyglobal.com/es/contact-forms/cont%C3%A1ctenos>)

Área	Valoración
Empresa	JOYGLOBAL
País de Origen	E.U.A.
Modelo	CMM2
Contacto	<a href="http://www.joyglobal.com/es/contact-forms/cont%C3%A1ctenos">http://www.joyglobal.com/es/contact-forms/cont%C3%A1ctenos</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	50 – 200
Movilidad	DE CADENAS

**Tabla 25:** Características modelo Simba CMM 2

### SR 360

Sistema de perforación rotativa, tiene movilidad mediante cadenas, especial para mina subterránea de accionamiento hidráulico, el diámetro de pozo que puede manejar es desde 89 a 165 mm y su capacidad de perforación es de 230 m



**Figura 71:** Perforadora SR 360 (Foto: <http://www.joyglobal.com/es/contact-forms/cont%C3%A1ctenos>)

Área	Valoración
Empresa	JOYGLOBAL
País de Origen	E.U.A.
Modelo	CMM2
Contacto	<a href="http://www.joyglobal.com/es/contact-forms/cont%C3%A1ctenos">http://www.joyglobal.com/es/contact-forms/cont%C3%A1ctenos</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	230
Movilidad	DE CADENAS

Tabla 26: Características modelo Simba SR 360

### Hazemag EH

Sistema de perforación rotativa de acoplamiento hidráulico, especial para minas subterráneas, y de pozos de desgaseamiento.



Figura 72: Perforadora Hazemag EH (Fuente: <http://www.hazemag.com/>)

Área	Valoración
Empresa	HAZEMAG
País de Origen	E.U.A.
Modelo	EH
Contacto	<a href="http://www.hazemag.com/">http://www.hazemag.com/</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE

<b>Profundidad Max. (m)</b>	300
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 27:** Características modelo Hazemag EH

**CPB**

**CPB 1800**

Perforador de pozos y otras aplicaciones relacionadas, cuenta con un sistema hidráulico que permite controlar la totalidad de funciones de operación. Remolque 3,500 libras eje sencillo con 4 estabilizadores de la plataforma. Diámetro máximo de perforación: 8" a 10" según tipo de broca/herramienta.



**Figura 73:** Perforadora CPB 1800 (Fuente: ventas@compresoresymaquinaria.com)

Área	Valoración
<b>Empresa</b>	CPB
<b>País de Origen</b>	MÉXICO
<b>Modelo</b>	CPB 1800
<b>Contacto</b>	<a href="mailto:ventas@compresoresymaquinaria.com">ventas@compresoresymaquinaria.com</a>
<b>Tecnología</b>	Actual
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad Max. (m)</b>	80
<b>Movilidad</b>	RUEDAS

**Tabla 28:** Características modelo CPB 1800

**CPB 2600**

Equipo perforador de pozos y otras aplicaciones relacionadas. Está dotado de un completo, tiene un Motor Diesel de 26HP, llantas de 15' para carga pesada, Diámetro máximo de perforación: 8" a 10" según tipo de broca/herramienta.



**Figura 74:** Perforadora CPB 2600 (Fuente: ventas@compresoresymaquinaria.com)

Área	Valoración
Empresa	CPB
País de Origen	MÉXICO
Modelo	CPB 1800
Contacto	<a href="mailto:ventas@compresoresymaquinaria.com">ventas@compresoresymaquinaria.com</a>
Tecnología	Actual
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	150
Movilidad	DE RUEDAS

**Tabla 29:** Características modelo CPB 2600

**Fraste**

**FS 600**

Perforación rotaria, incluido un compresor de capacidad de 1270 cfm y 435 psi; una bomba de lodos 680 gpm y de 1015 psi, con un rango en de diámetro de pozo de 114 a 230 mm.



Figura 75: Perforadora FS 600 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)

Área	Valoración
Empresa	FRASTE
País de Origen	ITALIA
Modelo	FS 600
Contacto	<a href="http://www.fraste.com/es/contactos">http://www.fraste.com/es/contactos</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	450
Movilidad	FIJA

Tabla 30: Características modelo FS 600

### FS 500

Se monta sobre camión de 3 o 4 ejes, carro de orugas, semirremolque. Proyectada para ser utilizada en varias aplicaciones, perforación con circulación directa e inversa de fluidos, a aire con martillo de fondo, a seco con sinfines, acoplada con aditamentos para exploración minera.



**Figura 76:** Perforadora FS 500 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)

<b>Empresa</b>	FRASTE
<b>País de Origen</b>	ITALIA
<b>Modelo</b>	FS 500
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.fraste.com/es/contactos">http://www.fraste.com/es/contactos</a>
<b>Tecnología</b>	EMERGENTE
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad Max. (m)</b>	300
<b>Movilidad</b>	MOVIL

**Tabla 31:** Características modelo FS 500

### FS 400

Montada sobre camion, carro de orugas o remolque, para Pozos acuíferos, Exploración del subsuelo y mineraria, Extracción de testigo, perfora a circulación directa y inversa de fluidos, y con aire con martillo en fondo.



**Figura 77:** Perforadora FS 400 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)

Área	Valoración
Empresa	FRASTE
País de Origen	ITALIA
Modelo	FS 400
Contacto	<a href="http://www.fraste.com/es/contactos">http://www.fraste.com/es/contactos</a>
Tecnología	EMERGENTE
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	400
Movilidad	MOVIL

Tabla 32: Características modelo FS 400

### FS MULTIDRILL XL 140

De tipo modular y su elevado contenido tecnológico, es adaptable a cualquier sistema de perforación, con distintos equipamientos y objetivos dentro de la industria minera subterránea y superficial.



Figura 78: Perforadora FS MULTIDRILL XL 140 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)

Área	Valoración
Empresa	FRASTE
País de Origen	ITALIA
Modelo	FS 140
Contacto	<a href="http://www.fraste.com/es/contactos">http://www.fraste.com/es/contactos</a>
Tecnología	ACTUAL
Medidas	NE
Profundidad Max. (m)	200

<b>Movilidad</b>	MOVIL
------------------	-------

**Tabla 33:** Características modelo FS MULTIDRILL XL 140

### FS MULTIDRILL XL 170

Cuenta con un nuevo sistema automático de carga de barras de perforación Fraste, que puede ser instalado por encargo, dinámica y multitasking, ya que cuenta con un sistema de monitoreo eléctrico que responde a fallas, enfocado a diferentes áreas como geotécnica, Sondeos, Extracciones, perforaciones mineras de corto alcance, Pozos de agua.



**Figura 79:** FS MULTIDRILL XL 170 (Fuente: <http://www.fraste.com/es/contactos>)

Área	Valoración
<b>Empresa</b>	FRASTE
<b>País de Origen</b>	ITALIA
<b>Modelo</b>	FS MULTIDRILL 170
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.fraste.com/es/contactos">http://www.fraste.com/es/contactos</a>
<b>Tecnología</b>	EMERGENTE
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad Max. (m)</b>	200
<b>Movilidad</b>	MOVIL

**Tabla 34:** Características modelo FS MULTIDRILL XL 170

### 5.3 Tecnología de Cogeneración de energía:

#### Madisa CAT

Son fáciles de instalar, con dimensiones compactas además de que en comparación con otras unidades son ligeras; además de que sus costos de mantenimiento son bajos.



**Figura 80:** Generador Madisa CAT (Fuente: <http://www.cat.com/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
CAT	E.U.A.	<a href="http://www.cat.com/">http://www.cat.com/</a>	ACTUAL
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
NE	NE	400 - 800	40 - 95

**Tabla 35:** Características modelo Generador Madisa CAT (Fuente: <http://www.cat.com/>)

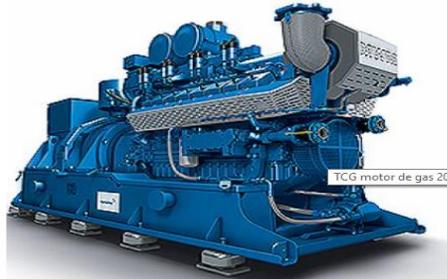
### MWM

Motores a gas con rangos de potencia de 400 kW a 4.3 MW.

Entre el 2008 y 2010, MWM ha entregado siete grupos electrógenos TCG 2020 V20 en contenedores a Shanxi Coking Coal para utilizarlos en su mina Xishan. Las unidades funcionan con gas de mina de carbón con una capacidad total de 12 MW.

### TGC 2016

Trabaja con gas natural, alta eficiencia en la quema del combustible, potencia térmica de 427.886 kwe, eficiencia eléctrica de 41 a 43%.



**Figura 81:** TGC 2016 (Fuente: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MWM	ALEMANIA	<a href="http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/">http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/</a>	EMERGENTE
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
TGC 2016	45	400 - 800	35 - 90

**Tabla 36:** Características modelo TGC 2106

### TGC 2020

Trabaja de forma que aísla la corriente en caso de un siniestro, tiene una reducción de consumo de combustibles y por lo tanto reducción de emisiones, potencia térmica de 1500-1900 kwe, eficiencia eléctrica de 43 %.



**Figura 82:** TGC 2020 (Fuente: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MWM	ALEMANIA	<a href="http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/">http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/</a>	EMERGENTE
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
TGC 2020	43	1200- 2000	35 - 90

**Tabla 37:** Características modelo TGC 2020

### TGC 2032

Bajos costos de instalación y mantenimiento, mayor eficiencia en el uso de combustible debido a la cámara de ignición optimizada, gran uso antes de mantenimiento, el primer mantenimiento es después de 4000 horas, el aire de admisión puede trabajar incluso con temperaturas de 45° centígrados, potencia térmica de 3000 kwe, eficiencia eléctrica de 44 %.



Figura 83: TGC 2032 (Fuente: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MWM	ALEMANIA	<a href="http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/">http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/</a>	EMERGENTE
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
TGC 2032	42	3000 - 4500	35 - 90

Tabla 38: Características modelo TGC 2032

### General Electric

Son de las que menores emisiones se tiene en el mercado, ya que tienen en su eficiencia de combustible un 95%, los costos de mantenimiento no se presentan hasta las 3500 horas de uso, puede trabajar con gas natural.



Figura 84: Generador General Electric (Fuente: [http://chp.gepower.com/mx/es/contact\\_us/](http://chp.gepower.com/mx/es/contact_us/))

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
General Electric	E.U.A.	<a href="http://chp.gepower.com/mx/es/contact_us/">http://chp.gepower.com/mx/es/contact_us/</a>	ACTUAL
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
NE	NE	100 - 3000	NE

Tabla 39: Características modelo General Electric

### Mitsubishi

Equipos con rangos desde 600 a 2000 kw, contiene un panel de control que permite determinar el estado del motor, controlar el arranque y fallo de red, este control consiste en un pantalla LCD.



**Figura 85:** Mitsubishi (Fuente:

<http://www.igsapower.com.mx/images/upload/paginaweb/archivo/25/plantas-ficha-mitsubishi.pdf>)

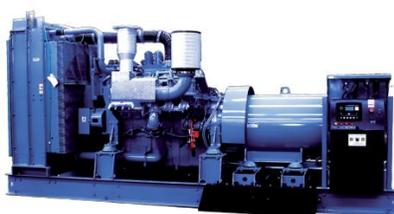
Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MITSUBISHI	JAPON	<a href="http://www.igsapower.com.mx/images/upload/paginaweb/archivo/25/plantas-ficha-mitsubishi.pdf">http://www.igsapower.com.mx/images/upload/paginaweb/archivo/25/plantas-ficha-mitsubishi.pdf</a>	ACTUAL
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
GS- (600 A 2000)	NE	600 - 2000	NE

**Tabla 40:** Características modelo GS-(600 A 2000)

### MTU

#### GS-750, GS-3250

Existe una variedad de modelos que pueden tener estas capacidades y varían solo en detalles de tamaño o de potencia; la energía la generan a 60 Hz.



**Figura 86:** Generador MTU (Fuente: <http://www.mtu-online.com/iberica/company/index.es.html?r=FBsyjYxp>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MTU	JAPON	<a href="http://www.mtu-online.com/iberica/company/index.es.html?r=FBsyjYxp">http://www.mtu-online.com/iberica/company/index.es.html?r=FBsyjYxp</a>	ACTUAL
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada kW	% De Metano
GS-(750 A 3250)	NE	750 - 3250	NE

**Tabla 41:** Características modelo GS-(750 a 3220)

### Broschuere

Broschuere tiene como objetivo la generación de energía mediante turbinas cuya alimentación de combustible es gas natural.

#### SGT-100



**Figura 87:** Generador SGT-100 (Fuente: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
SIEMENS	ALEMANIA	<a href="http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/">http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/</a>	ACTUAL
Modelo	Eficiencia Eléctrica (%)	Electricidad Generada MW	% De Metano
SGT-100	30.5	5.25	NE

**Tabla 42:** Características modelo SGT-100

#### SGT-200



**Figura 88:** Generador SGT-200 (Fuente: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
SIEMENS	ALEMANIA	<a href="http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/">http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/</a>	ACTUAL
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada MW	% De Metano
SGT-200	31.5	6,75	NE

**Tabla 43:** Características modelo SGT-200

### SGT-500



Figura 89: Generador SGT-500 (Fuente: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
SIEMENS	ALEMANIA	<a href="http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/">http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/</a>	EMERGENTE
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada MW	% De Metano
SGT-500	32.2	17.18 MÍNIMA-18.60 MÁXIMA	NE

Tabla 44: Características modelo SGT-500

### SGT-600



Figura 90: Generador SGT-600 (Fuente: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
SIEMENS	ALEMANIA	<a href="http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/">http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/gas-turbines/</a>	EMERGENTE
Modelo	Eficiencia Térmica (%)	Electricidad Generada MW	% De Metano
SGT-600	34.2	24.77	NE

Tabla 45: Características modelo SGT-600

## 5.4 Tecnología de Ventilación

### Minería Polaca:

Para minas subterráneas y construcción de túneles. Los ductos están hechos de un material elástico y fabricados por medio del método de soldadura con aire caliente. Cubierta por cloruro de polivinilo, incombustible, antielectrostática y hermética. Los ductos pueden trabajar en temperaturas entre -10 y 60 °C.

### Aspirantes:



Figura 91: Ducto de Ventilador Minería Polaca Fuente: <http://www.minerapolaca.com/contacto.html>

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MINERIA POLACA	COLOMBIA	<a href="http://www.minerapolaca.com/contacto.html">http://www.minerapolaca.com/contacto.html</a>	ACTUAL
Diámetros (mm)	Longitud (m)	Presión Máxima (Pa)	
250 - 1000	10 - 50	15 000	

Tabla 46: Características del ducto

### Soplantes:



Figura 92: Ducto de Ventilador Minería Polaca (Fuente: <http://www.minerapolaca.com/contacto.html>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
MINERIA POLACA	COLOMBIA	<a href="http://www.minerapolaca.com/contacto.html">http://www.minerapolaca.com/contacto.html</a>	ACTUAL
Diámetros (mm)	Longitud (m)	Presión Máxima (Pa)	
600 - 1000	10 - 15	10 000	

Tabla 47: Características del ducto

### Atlas Copco:

Están disponibles con silenciadores y sistema de funcionamiento eléctrico



**Figura 93:** Ventilador Serpent (Fuente: <http://www.atlascopco.cl/cles/products/sistemas-de-ventilaci%C3%B3n-subterr%C3%A1neos/3506182/3506569/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
ATLAS COPCO	SUECIA	<a href="http://www.atlascopco.cl/cles/products/sistemas-de-ventilaci%C3%B3n-subterr%C3%A1neos/3506182/3506569/">http://www.atlascopco.cl/cles/products/sistemas-de-ventilaci%C3%B3n-subterr%C3%A1neos/3506182/3506569/</a>	EMERGENTE
Diámetros (mm)	Longitud (m)	Presión Máxima (Pa)	
500 - 3000	10	NE	

**Tabla 48:** Ventilador Serpent

### Ziebttec:

Rotores anti erosión, con opciones de rodamiento, funcionamiento con aire a 400 °C, durante 90 min, control de salida.



**Figura 94:** Ventilador Ziebttec (Fuente: <http://www.ziebttec.cl/contacto.php>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
ZIEBTEC	CHILE	<a href="http://www.ziebttec.cl/contacto.php">http://www.ziebttec.cl/contacto.php</a>	ACTUAL
Diámetros (mm)	Longitud (m)	Presión Máxima (Pa)	
200 – 5000	10 - 15	NE	

**Tabla 49:** Ventilador Ziebttec

**Chaccourt Mining Co.:**

Ventiladores que están certificados por el Buro de Minas, existen modelos que trabajan a alta presión y temperatura, con aspas anti chispas.



**Figura 95:** Ventilador Chaccourt (Fuente: <http://chaccourtminingco.com/Contacto.aspx>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
CHACCOURT MINIG CO.	MÉXICO	<a href="http://chaccourtminingco.com/Contacto.aspx">http://chaccourtminingco.com/Contacto.aspx</a>	ACTUAL
Diámetros (mm)	Longitud (m)	Presión Máxima (Pa)	
200 – 3 000	NE	NE	

**Tabla 50:** Ventilador Chaccourt

**VENTSIM (SIMULADOR DE VENTILACION):**

VENTSIM es un simulador enfocado a la caracterización de la ventilación de la mina. Maneja mezclas de gases además de diferentes herramientas y plugins que pueden hacer una red de forma más verídica de la ventilación.



**Figura 96:** Logo del Software (Fuente: <http://www.ventsim.com/es/contacto/>)

Empresa	País de Origen	Contacto	Tecnología
VENTSIM	AUSTRALIA	<a href="http://www.ventsim.com/es/contacto/">http://www.ventsim.com/es/contacto/</a>	ACTUAL

**Tabla 51:** Información del Software

**5. 5 Tecnología de Exploración:**

**Equipo Sísmico:**

**GEOLEC:**

**Geode:**

Trabaja en conjunto con refracción, métodos de Ondas Superficiales, reflexión, downhole o VSP; Alberga 8 a 24 canales por módulo, y se interconectan mediante un cable de red digital. Contiene una batería de 12v y entra en modo reposo cuando no es usado. Puede construir un sistema de registro sísmico de 3 a 1000 canales con líneas múltiples y capacidad de roll-along interno. Aún con su bajo consumo, cuenta con un correlador interno que puede ser utilizado para estudios con fuentes de barrido.



**Figura 97:** Equipo Geode (Fuente: <http://www.geoelec.com.mx/contacto.htm>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
GEOLEC	MÉXICO	<a href="http://www.geoelec.com.mx/contacto.html">http://www.geoelec.com.mx/contacto.html</a>	
Modelo	Resolución	Peso (Kg)	Tecnología
GEODE	2D	3.6	ACTUAL

**Tabla 52:** Información del equipo sísmico GEODE

**Geode DZ:**

El operador puede visualizar y ajustar la geometría del arreglo, se comunica usando el protocolo Ethernet, virtualmente puede controlar su levantamiento sísmico, ahorrando unidades RAID, discos duros USB, impresoras y otros. Utiliza tecnología field-hardened con la capacidad de registrar continuamente en altas frecuencias de muestreo en cualquier número de canales; sirve en estudios de yacimientos de carbón, monitoreo de reservas e inundaciones. Ancho de banda de 8KHz y resolución de 24-bit. Amplio rango de opciones de fuentes incluyendo vibradores impacto y explosivos.



**Figura 98:** Equipo Geode DZ (Fuente: <http://www.geoelec.com.mx/contacto.html>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
GEOLEC	MÉXICO	<a href="http://www.geoelec.com.mx/contacto.html">http://www.geoelec.com.mx/contacto.html</a>	
Modelo	Resolución	Peso (Kg)	Tecnología
GEODE DZ	2D Y 3D	8	EMERGENTE

**Tabla 53:** Información del equipo sísmico GEODE DZ

### ES 300:

Se conecta directamente a su PC vía puerto Ethernet, no se requieren controladores o hardware adicional. viene incluido con todo el software de análisis necesario para estudio adecuado para encontrar roca basal, nivel de agua. Encuentra contacto de la roca, profundidad del agua, fallas y fracturas.

De bajo consumo de pila. Reduce el ruido y costo: Los datos se transmiten a una computadora central, sustituyendo costosos cables analógicos con cables digitales. Software opcional para medición de explosiones y vibraciones



**Figura 99:** Equipo ES 300 (Fuente: <http://www.geoelec.com.mx/contacto.html>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
GEOLEC	MÉXICO	<a href="http://www.geoelec.com.mx/contacto.html">http://www.geoelec.com.mx/contacto.html</a>	
Modelo	Resolución	Peso (Kg)	Tecnología
ES 300	3D	3.5	ACTUAL

**Tabla 54:** Información del equipo sísmico ES 300

## FUENTES SISMICAS

### Scintrex

#### ESS 500

Cuenta con un martillo, el cual es acelerado a una gran velocidad para conseguir la máxima energía posible. Este martillo se encuentra acoplado en una plataforma con dos ruedas, cuenta con un ciclo completamente automático puede ser operado con equipo integrado o bien puede ser disparado remotamente con radio link opcional, los cuales disparan cientos de veces antes de que la batería se descargue.



**Figura 100:** Equipo ESS 500 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
SCINTREX	CANADA	<a href="http://www.scintrexltd.com/contact.php">http://www.scintrexltd.com/contact.php</a>	
Modelo	Potencia de Motor (HP)	Peso del martillo (lb)	Tecnología
ESS 500	5.5	500	ACTUAL

**Tabla 55:** Información del equipo sísmico ESS 500

### ESS 200

Cuenta con un martillo, el cual es acelerado a una gran velocidad para conseguir la máxima energía posible. Este martillo se encuentra acoplado en una plataforma con dos ruedas, cuenta con un ciclo completamente automático puede ser operado con equipo integrado o bien puede ser disparado remotamente con radio link opcional, los cuales disparan cientos de veces antes de que la batería se descargue.



**Figura 101:** Equipo ESS 200 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
SCINTREX	CANADA	<a href="http://www.scintrexltd.com/contact.php">http://www.scintrexltd.com/contact.php</a>	
Modelo	Potencia de Motor (HP)	Peso del martillo (lb)	Tecnología
ESS 200	5.5	200	ACTUAL

**Tabla 56:** Información del equipo sísmico ESS 200

### MINIVIB SHEARWAVE

Tiene cuatro sistemas de despliegue. Esto incluye el minibuggy, el sistema de remolque T-7000 y los sistemas para camión T-15000 y T-2500. Estas configuraciones consisten en un grupo de componentes los cuales permiten al usuario convertir el vibrador en una fuente sísmica vibratoria Shearwave. El diseño único del Minivib Shearwave permite al operario rotar y ubicar el vibrador en cualquier ángulo.



Figura 102: Minivib Shearwave (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
SCINTREX	CANADA	<a href="http://www.scintrexltd.com/contact.php">http://www.scintrexltd.com/contact.php</a>	
Modelo	Potencia de Motor (HP)	Peso del martillo (lb)	Tecnología
ESS 200	5.5	200	ACTUAL

Tabla 57: Información del equipo sísmico Minivib Shearwabe

### EQUIPO DE GRAVIMETRÍA

#### Scintrex

#### CG-5 AutoGrav Gravímetro

Entrega de repetibilidad de datos superior en el terreno terreno áspero. Posiciones de las estaciones se miden con la capacidad de GPS integrado. GPS y el reloj interno precisa las posiciones XY. Tiene un peso de aproximadamente 8 kg.



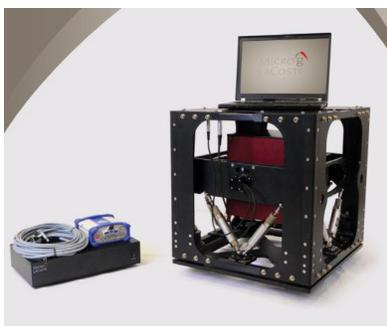
Figura 103: CG-5 AutoGrav Gravímetro (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
SCINTREX	CANADA	<a href="http://www.scintrexltd.com/contact.php">http://www.scintrexltd.com/contact.php</a>	
Modelo	Batería (v)	Temperatura de operación (°C)	Tecnología
CG-5 AUTO GRAV GRAVIMETRO	110-224	-40 - 45	ACTUAL

**Tabla 58:** Información del equipo CG-5 AutoGrav Gravímetro

### TAGS-6 Dinámica Gravímetro

Combina lo último en tecnología GPS y de adquisición de datos con la base sólida de la dinámica gravímetro. El sistema incorpora un sensor de gravedad de longitud montado en una plataforma de cardán giro-estabilizado. El sensor tiene un rango de medición de la gravedad en todo el mundo (sin reajuste necesario).



**Figura 104:** TAGS-6 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
SCINTREX	CANADA	<a href="http://www.scintrexltd.com/contact.php">http://www.scintrexltd.com/contact.php</a>	
Modelo	Batería (v)	Temperatura de operación (°C)	Tecnología
TAGS-6	100	-40 - 45	ACTUAL

**Tabla 59:** Información del equipo CG-5 AutoGrav Gravímetro

### A10 al aire libre absoluta Gravímetro

Gravímetro absoluto optimizado para la adquisición de datos rápida y portabilidad en aplicaciones al aire libre. Puede ser controlada en carretera desde un vehículo. Y cuenta con una carcasa protectora. Además de que puede enviar los resultados de forma remota.



Figura 105: A-10 (Fuente: <http://www.scintrexltd.com/contact.php>)

Compañía	País de Origen	Contacto	
SCINTREX	CANADA	<a href="http://www.scintrexltd.com/contact.php">http://www.scintrexltd.com/contact.php</a>	
Modelo	Batería (v)	Temperatura de operación (°C)	Tecnología
A-10	100	-40 - 45	EMERGENTE

Tabla 60: Información del equipo A-10

## EQUIPO DE MAGNETOMETRÍA

### Scintrex

#### GSM-19 Overhauser magnetómetro / Gradiómetro robusto

Ofrece un bajo consumo de energía; es un magnetómetro de protones sobrealimentado que utiliza una mezcla especial para la energización y medición.

Tiene aplicaciones en arqueología y exploración de minerales entre otras.

Especificaciones:

Resolución: 0,01 nT

Precisión Absoluta: + / - 0,1 nT

Rango dinámico: 20.000 a 120.000 nT

Intervalos de muestreo: 60 +, 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,2 seg



Figura 106: GSM-19 (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

Compañía	País de Origen	Contacto	Tecnología
OVERHOUSER	CANADA	<a href="http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/">http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/</a>	ACTUAL
Modelo	Sensibilidad nT @ 1 Hz	Gradiente de Tolerancia (nT/m)	Temperatura de Funcionamiento (°C)
GSM-19	0,022	10 000	-40 - 50

Tabla 61: Información del equipo GSM-19

### GEM-19T Magnetómetros de protones / Gradiómetro versátil

El sistema de protones está diseñado para adaptarse forma sencilla a la hora de operar, además de que requiere un bajo costo. Tiene aplicaciones en arqueología y exploración de minerales entre otras.

Especificaciones:

Resolución - 0,01 nT

Precisión absoluta - + / - 0,2 nT

Rango Dinámico - 20.000 a 120.000 nT

Frecuencia de muestreo - 60 +, 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 seg



Figura 107: GEM-19T (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

Compañía	País de Origen	Contacto	Tecnología
OVERHOUSER	CANADA	<a href="http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/">http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/</a>	ACTUAL
Modelo	Sensibilidad nt @ 1 Hz	Gradiente de Tolerancia (nT/m)	Temperatura de Funcionamiento (°C)
GEM-19T	-.15	7 000	-40 - 50

Tabla 62: Información del equipo GEM-19T

### GSMP-35 MAGNETÓMETRO DE POTASIO / GRADIÓMETRO ULTRA SENSIBLE

Es un instrumento de alta sensibilidad para las investigaciones del subsuelo en varios campos y ofrece frecuencias de muestreo rápido. El sistema está diseñado para los clientes que requieren el máximo absoluto en la calidad de los datos superior a la del magnetómetro de Cesio convencionales. La calidad de los datos se debe a la sensibilidad, el mínimo error de lectura, de alta precisión absoluta. Tiene aplicaciones en arqueología y exploración de minerales.

Parcial Especificaciones:

Resolución: 0,0001 nT

Precisión Absoluta: + / - 0,05 nT

Rango dinámico: 15,000 a 120,000 nT, (250.000 opcional)

Frecuencia de muestreo: 1, 2, 5, 10, 20 Hz



**Figura 108:** GSMP-35 (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

Compañía	País de Origen	Contacto	Tecnología
OVERHOUSER	CANADA	<a href="http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/">http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/</a>	EMERGENTE
Modelo	Sensibilidad nt @ 1 Hz	Gradiente de Tolerancia (nT/m)	Temperatura de Funcionamiento (°C)
GSMP-35	-0.0003	50 000	-40 - 50

**Tabla 63:** Información del equipo GSMP-35

### MAGNETÓMETRO / GRADIÓMETRO AEROTRANSPORTADO

La aplicación a nivel mundial de datos magnéticos y gradiometría aérea están creciendo, impulsado por la demanda de los datos de alta resolución a con un bajo costo. Tiene aplicaciones en arqueología y exploración de minerales.

Especificaciones:

La interpretación de error: + / - 0,05 nT entre 10 y 80 grados y 360 grados de rotación completa alrededor del eje

Precisión Absoluta: + / - 0,1 nT

Rango dinámico: 20.000 a 100.000 nT

Orientación: ángulo óptimo de 35 grados entre el eje del cabezal del sensor y campo vectorial



**Figura 109:** Magnetómetro AeroTransportado (Fuente: <http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/>)

<b>Compañía</b>	<b>País de Origen</b>	<b>Contacto</b>	<b>Tecnología</b>
OVERHOUSER	CANADA	<a href="http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/">http://www.gemsys.ca/contact-us/contact-gem-by-country/</a>	EMERGENTE
<b>Modelo</b>	<b>Sensibilidad nt @ 1 Hz</b>	<b>Gradiente de Tolerancia (nT/m)</b>	<b>Resolución (nT)</b>
AERO TRANSPORTADO	0.3	35 000	.0001

**Tabla 64:** Información del equipo AeroTransportado

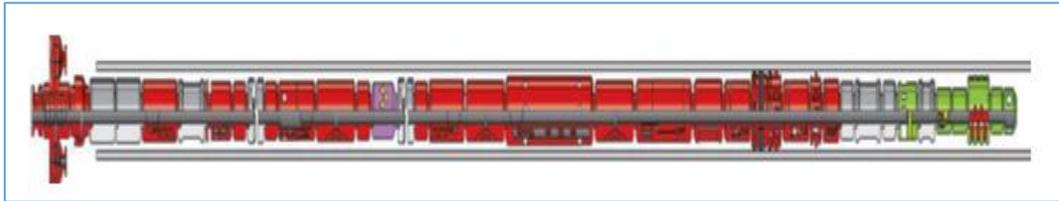
## 6. Vigilancia Tecnológica de GAMC.

### 6.1 Tecnología en pruebas de pozos.

Para mayor facilidad en la cuantificación de las propiedades del yacimiento, comúnmente se hacen pruebas de corto tiempo en el yacimiento. Estas pruebas son usualmente de la forma de algún tipo de pruebas de inyección de fluido en el yacimiento.

*Prueba Drill Stem. (En inglés DST).*

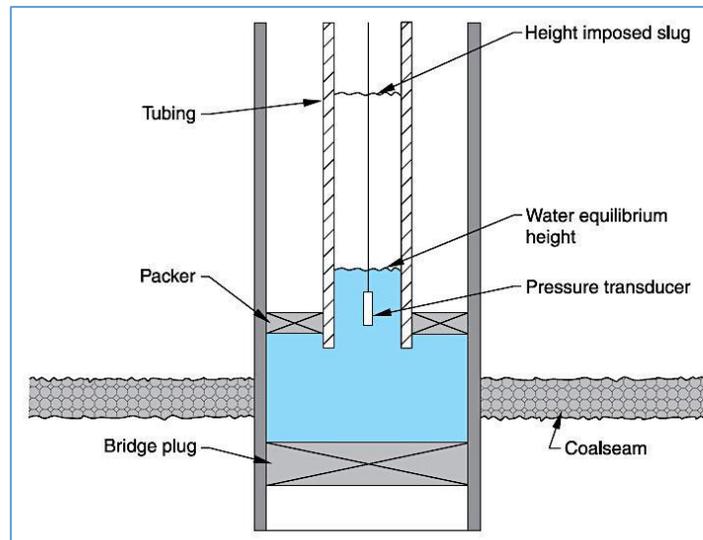
Para obtener datos de permeabilidad precisos se puede utilizar esta prueba ya que obtenerla mediante sólo el análisis de núcleos no es suficiente, y este método resulta útil y es muy similar al utilizado en yacimientos de gas convencionales. Estas pruebas se llevan a cabo en agujero descubierto y por lo general se realizan durante la perforación del pozo que después de alcanzar la profundidad total del pozo. Las pruebas DST en agujero descubierto se realizan debido a que los mantos están menos dañadas en este momento. Las zonas individuales están aisladas con los empacadores y son probadas para determinar la permeabilidad, daño en la capa, las propiedades del fluido y la presión del yacimiento.



**Figura 110:** Sarta de la herramienta DST (Fuente: Halliburton CBM: Principles and Practices, 2007).

*Slug tests.*

Son de bajo costo y efectivas en determinación de la permeabilidad pero usualmente estas pruebas toman un largo tiempo para completarse, particularmente en carbones de baja permeabilidad y el radio de investigación es relativamente pequeño.



**Figura 111:** Esquema de una Prueba Slug (Fuente: Halliburton CBM: Principles and Practices, 2008).

## 6.2 Tecnología en simuladores de GAMC.

-**GEM** de CMG, simulador canadiense. Es un simulador específico para GAMC desarrollado por la empresa Computer Modelling Group.



Figura 112: Logotipo Simulador GEM

-**Eclipse**, de Schlumberger. Se trata de un simulador de petróleo con características adicionales para GAMC. Presenta la limitación que sólo es válido para manejar dos gases.



Figura 113: Logotipo Simulador Eclipse

-**GCOMP**, de BP. Del tipo composicional convertido a la simulación de recuperación de GAMC. Está basado en la teoría de Seidl de 1990. Asume que la difusión del sistema de porosidad primaria al sistema de diaclasas es instantánea, con lo que puede utilizarse un modelo de porosidad simple y no dual.

-**COMET 3**, desarrollado por ARI. Es el modelo utilizado en EEUU. Puede manejar hasta tres gases.

-**Simed II**, de la Universidad de New South Wales en Australia y CSIRO. Es un simulador múltiple.

Todos los simuladores menos eclipse modelizan la relación tensión-permeabilidad y encogimiento/hinchamiento-desorción/inyección. El encogimiento se introduce a partir de un factor de encogimiento.

## 6.3. Tecnologías en el tratamiento de agua.

*Coagulación- descongelación- evaporación*

La técnica consiste en enfriar el agua por debajo de 0 °C, con lo que se conseguirá una congelación parcial de la solución que será agua pura, mientras que el agua con sólidos disueltos permanecerá en estado líquido. La recolección de cristales dará agua de alta calidad. Puede repetirse proceso para conseguir concentrar cada vez más la solución.

Este es el sistema utilizado en Alaska, Colorado y Wyoming. El rendimiento depende de las condiciones climáticas para no tener que aportar mucha energía para descongelar. El coste se estima en 1,5-2 \$/m<sup>3</sup> (0,24-0,32 \$/barril).

*Osmosis inversa.*

Separación por medio de una membrana semipermeable y una bomba para aportar la energía para pasar por la membrana. Los costes se establecen en 0.56 \$/m<sup>3</sup> (0.08-0.1\$/barril).

*Luz ultravioleta.*

Se esteriliza la solución con luz UV para que los organismos que hay en ella no se puedan multiplicar. No permite su aplicación cuando en la solución existen, ácidos húmicos, hierro, calcio, magnesio, porque pierde eficacia. Puede combinarse con tratamiento de ozono. El coste de operación es bajo, de 0.01 \$/m<sup>3</sup>.

*Tratamiento químico.*

*Cloración:* para desinfección. Es barato y con alto rendimiento.

*Yodo o plata:* eliminan sustancias patógenas del agua.

*Intercambio iónico.*

Se utiliza cuando es necesaria alta pureza. Reemplaza iones de Ca y Mg por Na y Cl. Para ablandar el agua, necesita pretratamiento y regeneración del sistema. También se emplea para desionizar el agua.

*Destilación capacitiva o desionización.*

Sistema inventado por Farmer. Bombea agua a través de mantos de un aerogel de carbono con carga eléctrica que atrapa iones y permite el paso de agua. No es necesaria regeneración. Tiene alto rendimiento y apenas genera residuos. Su coste en la actualidad es alto.

*Electrodialisis inversa.*

Utilización de electrodos para atraer los iones del agua.

*Destilación.*

Capaz de eliminar el 99.5% de las impurezas.

*Zonas húmedas artificiales*

#### **6.4. Tecnologías en compresores y bombas.**

***Tecnologías de extracción de agua en mantos de Carbón.***

*Tecnología para el desagüe de minas.*

**REDA HPS** Horizontal Multistage Surface Pumping System( REDA HPS sistema de bombeo de superficie horizontal multietapa)

Bomba horizontal de última generación está diseñado con capacidades materiales de tolerar la corrosión y de flujo que van desde 2.5 l/s hasta 117 l/s [40 galón / min a 1.850 galón / min]. Las potentes bombas funcionan a velocidades de hasta 2.500 CV [1.864 kW] en una sola unidad, y son capaces de impulsar las presiones en exceso de 6.650 psi [45951 kPa]. ] La bomba REDA HPS G3 es ideal para operaciones de desagüe minero. Estas potentes bombas funcionan con una potencia de hasta 2 500 hp [1 864 kW] en una sola unidad y son capaces de incrementar las presiones por encima de 6 650 psi [45 951 kPa]. El alojamiento modular del conjunto y su diseño flexible de tipo “conectar y utilizar” permiten una reconfiguración simple y rápida de las bombas y los motores, lo que minimiza de manera sustancial el tiempo muerto.



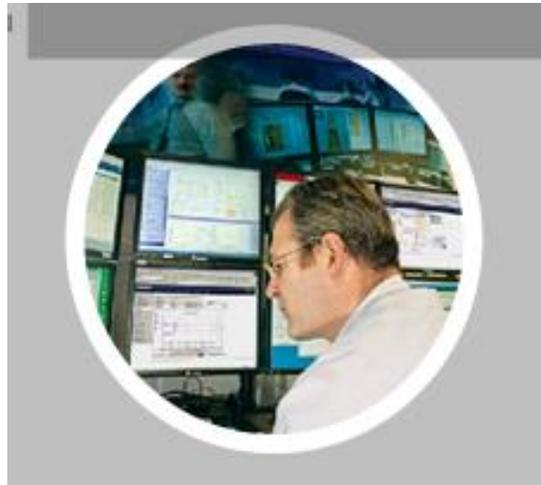
**Figura 114:** REDA HPS sistema de bombeo de superficie horizontal multietapa. (Fuente: Schlumberger)

**Electrical Submersible Pump (ESP) Systems.** Bomba eléctrica sumergible (ESP) Sistemas.

Sistemas REDA ESP combinan el motor, protector, de la bomba, y el sensor en una unidad altamente fiable, multifuncional. Ofrecemos la más amplia gama de ESP en la industria. Nuestras bombas de alta eficiencia van de 0,2 l / s hasta 176 L / s [3 galón / min a 2.770 galón / min] en la tasa de producción, y nuestros sistemas EZLine ESP variar de 0,3 l / s hasta 25 L / s [5 Galus / min a 408 galón / min].

*Servicio de inspección en tiempo real LiftWatcher*

Con el monitoreo y el control en tiempo real, se hace posible la inspección continua y precisa de los parámetros clave de fondo de pozo. La posibilidad de identificar cambios en la productividad reduce las fallas del sistema; esto evita muchas veces los problemas antes de que surjan. Este sistema experto incrementa sustancialmente la producción, la recuperación y la duración funcional del sistema.



**Figura 115:** Servicio de inspección en tiempo real LiftWatcher. (Fuente: Schlumberger)

#### *Sistemas ESP de alta eficiencia*

Los sistemas ESP REDA combinan el motor, el protector y el sensor de fondo de pozo en una sola unidad integral, multifuncional y confiable. En cuanto al régimen de producción, la capacidad de estas bombas varía entre 0,2 L/s y 176 L/s [3 galones US/minuto y 2 770 galones US] y su diámetro externo varía entre 85,9 mm [3,380 pulgadas] y 346,1 mm [13,625 pulgadas].



**Figura 116:** Sistemas ESP de alta eficiencia. (Fuente: Schlumberger)

#### *Variadores de velocidad (VSD)*

Los variadores de velocidad ofrecen flexibilidad al cliente para que adapte su frecuencia en función de sus condiciones operativas. Este control estricto permite incrementar la duración funcional del sistema ESP hasta en un 50%, respecto de otros VSDs no filtrados, y hasta permite la obtención de créditos o bonos de carbono y eficiencia para sus usuarios.



**Figura 117:** Variadores de velocidad (VSD). (Fuente: Schlumberger)

#### Tecnología HRPCP:

Cuando se utiliza una bomba de tornillo para un flujo multifase, se produce compresión en el lado de descarga de la bomba que puede acortar la vida de funcionamiento. Con una bomba PCM Moineau™ HR, la presión se mantiene equilibrada. El incremento de presión del líquido y del gas se distribuye más uniformemente a lo largo del estator. Esto reduce los esfuerzos y la tensión, y contribuye a mejorar la fiabilidad y a prolongar la vida de funcionamiento.

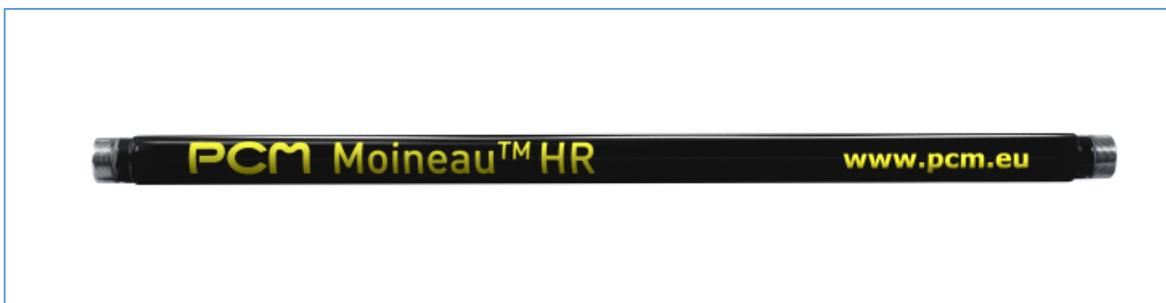
La tecnología HRPCP (HR significa Regulador Hidráulico) modifica el diseño tradicional de las bombas de tornillo añadiendo reguladores hidráulicos a lo largo de la bomba, integrándolos en el diseño del rotor. Esta tecnología patentada está basada en las competencias de PCM para dimensionar y situar los reguladores a lo largo de la bomba a fin de garantizar la eficiencia de la bomba y la autorregulación de la presión interna de la misma.

HR permite distribuir mejor la presión dentro de la bomba y hace posible la recirculación interna entre las cavidades. Por lo tanto, la presión y la temperatura están equilibradas a lo largo de la bomba, lo cual permite una prestación óptima y prolonga la vida de funcionamiento.

Las operaciones en condiciones de multifase con un alto contenido de gas son difíciles, y las bombas de tornillo convencionales alcanzan sus límites. La compresión del gas situado en la salida de la bomba genera calor, el elastómero se deforma y aparecen posibles fallos prematuros.

La tecnología PCM Moineau™ HR mejora el rendimiento de las bombas de tornillo convencionales ofreciendo:

- Una distribución uniforme de la presión
- Una temperatura más baja
- Menos esfuerzos en el estator
- Un menor momento de ficción



**Figura 118:** Bomba PCM Moineau™ HR (Fuente: <http://www.pcm.eu/es/petroleo-y-gas/aplicaciones/extraccion-artificial-aplicaciones/extraccion-de-agua-del-metano-de-carbon>)

Gama:

Hay 37 modelos disponibles.

5 elastómeros dedicados para elegir

Intervalo de caudal de 5 a 700 m<sup>3</sup>/d (de 30 a 4500 bfpd)

Intervalo de presión Hasta 260 bares (3800 psi)

### **Tecnologías de compresión de gas.**

Los productores saben que la producción de GAMC puede variar con el tiempo, lo que los obliga a buscar soluciones más flexibles, como la tecnología Copeland Scroll y monotornillo Vilter™.

Los beneficios incluyen compresiones escalables en boca de pozo, menores costos de instalación de compresión y confiabilidad probada de los compresores.

El compresor Copeland Scroll tiene un scroll o espiral, orbitante en un trayecto definido por un scroll fijo coincidente. El scroll fijo está unido al cuerpo del compresor.

El scroll orbitante está acoplado al cigüeñal y gira en órbita en lugar de rotar. El movimiento orbitante crea una serie de bolsillos de gas que se desplazan entre ambos scrolls. En la porción externa de los scrolls, los bolsillos aspiran gas y lo trasladan al centro del scroll, donde lo descargan. A medida que el gas se mueve por los bolsillos internos, que son cada vez más pequeños, la temperatura y la presión aumentan a la presión de descarga deseada.



**Figura 119:** compresor Copeland Scroll (Fuente: [http://www.emersonclimate.com/es-LA/Market\\_Solutions/Industrial/Hydrocarbon\\_Processing/applications/Pages/coal\\_bed\\_methane.aspx](http://www.emersonclimate.com/es-LA/Market_Solutions/Industrial/Hydrocarbon_Processing/applications/Pages/coal_bed_methane.aspx))

## 6.5. Tecnologías en Cementación.

La tecnología de cementación ligera de alta eficiencia mejora el aislamiento de las formaciones. Los cementos ultraligeros protegen las fuentes de agua dulce y protegen la tubería de revestimiento de la corrosión, ya que permiten columnas más altas en el espacio anular que las lechadas convencionales, incluso en áreas con tendencia a pérdidas de circulación extremas. Las formaciones débiles se pueden cementar completamente utilizando lechadas LiteCRETE que no exceden los bajos gradientes de fractura de la formación. Los tapones de LiteCRETE son lo suficientemente fuertes como para emplearse como tapones de desviación o cucharas desviadoras, y las tuberías de revestimiento cementadas con los sistemas LiteCRETE se pueden perforar fácilmente sin provocar fracturamiento. La permeabilidad del cemento fraguado es menor que la del cemento Portland convencional Clase G, y la resistencia a la compresión es comparable a la del cemento Portland. Las aplicaciones de la tecnología LiteCRETE son eficaces a temperaturas que varían de 80 a 450°F [27 a 232°C], presiones de fondo del pozo de hasta 8000 lpc [55.15 MPa] y lechadas cuyas densidades varían de 8.2 a 12.5 lbm/gal [0.98 a 1.50g/cm<sup>3</sup>].

Aliviar la carga

La tecnología CemCRETE es una tecnología de lechada de concreto que optimiza el comportamiento de la lechada durante su aplicación y que asegura una alta calidad del cemento fraguado. Para crear estas lechadas de alto rendimiento, se mezclan partículas de varios tamaños para maximizar la cantidad de partículas sólidas en un volumen de lechada dado. Las propiedades volumétricas del cemento, tales como la densidad, depende de las propiedades de las partículas más gruesas. Las partículas intermedias se seleccionan para ofrecer una respuesta química específica, como resistencia química o estabilidad térmica. Las partículas más pequeñas aseguran propiedades de matriz específicas, entre las que se incluyen la estabilidad, el control de pérdida de fluidos y la permeabilidad. Se pueden combinar varios tipos de partículas y distribuciones del tamaño de las partículas para lograr una densidad de lechada específica y que a la vez mantenga la reología deseada; la lechada debe ser homogénea, estable y fácil de bombear. Se han mezclado y bombeado con éxito lechadas de CemCRETE con un máximo de 65% de lechada seca y una densidad de hasta 24 lbm/gal [2.88g/cm<sup>3</sup>].

## 6.6. Tecnologías de perforación.

*Equipo de Perforación de mantos de carbón.*

*Equipo de Perforación RPS3000*

Descripción

La plataforma de perforación RPS3000 es una máquina de perforación de tipo mesa giratoria. Esta plataforma es movida mecánicamente y controlada por aire. Es capaz de perforar pozos de 2.500 a 3.500 metros. Esta plataforma puede ser utilizada en perforaciones geotérmicas, perforaciones de pozos de agua y en la extracción de gas metano de carbón.



**Figura 120:** Equipo de Perforación RPS3000 (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

Parámetros:

Datos	
<b>Empresa</b>	Zhangjiakou CGE GEO-Machinery Co., Ltd.
<b>País de Origen</b>	China
<b>Modelo</b>	<i>RPS3000</i>
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html">http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html</a>
<b>Tecnología</b>	ACTUAL
<b>Medidas</b>	31 m
<b>Profundidad (m)</b>	2000-3000 (m)
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 65:** Características del equipo de perforación RPS3000.

*Equipo de Perforación RPS3200.*

*Descripción*

La plataforma de perforación rotatoria de tipo RPS3200 es un equipo de perforación para yacimientos de gas metano asociado al carbón utilizado principalmente para la perforación de pozos geotérmicos profundos y pozos de agua, la extracción de petróleo y gas natural de mantos poco o medianamente profundas, y la perforación geológica profunda. Tiene un sistema de control neumático e impulso mecánico. Esta plataforma de perforación rotatoria consiste en una unidad de potencia, una broca, una barrena, un barrilete y un stand de perforación.



**Figura 121:** Equipo de Perforación RPS3200. (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

Parámetros:

Datos	
<b>Empresa</b>	Zhangjiakou CGE GEO-Machinery Co., Ltd.
<b>País de Origen</b>	China
<b>Modelo</b>	RPS3200
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html">http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html</a>
<b>Tecnología</b>	ACTUAL
<b>Medidas (LxWxH)</b>	8410mmx3075mmx1880mm
<b>Profundidad (m)</b>	2200-3200 (m)
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 66:** Características del equipo de perforación RPS3200.

*Equipo de Perforación SPS2600.*

Descripción

El equipo de perforación de mantos de carbón se utiliza especialmente para la exploración de gas metano de carbón (GAMC). Los pozos de GAMC son poco profundos (menos de 1000 metros). La plataforma de perforación de GAMC también se utiliza para la perforación de pozos de agua y la perforación para rescate minero. También sirve para la investigación mineral.



**Figura 122:** Equipo de Perforación SPS2600. (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

#### Ventajas de la Plataforma de perforación de GAMC

El Equipo de perforación de lecho de carbón metano puede cumplir con los requisitos de la perforación con lodo, la perforación con aire, la perforación con agua limpia, la perforación con espuma y los otros tipos de técnicas de perforación.

Parámetros:

Datos	
<b>Empresa</b>	Zhangjiakou CGE GEO-Machinery Co., Ltd.
<b>País de Origen</b>	China
<b>Modelo</b>	SPS2600
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html">http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html</a>
<b>Tecnología</b>	ACTUAL
<b>Medidas</b>	12.5m
<b>Profundidad (m)</b>	2200-2600
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 67:** Características del equipo de perforación SPS2600

### Equipo Perforación De Pozos SPS2000

#### Descripción

La Máquina Perforadora De Pozos tipo SPS2000 sirve para la extracción de gas metano en mantos de carbón, aguas subterráneas, petróleo superficial y gas natural de unos 1.500 m de profundidad. Esta plataforma es movida por un sistema de transmisión mecánica y es controlada por una mesa giratoria. Estos Máquina Perforadora De Pozos SPS2000 tiene el mismo tamaño que los camiones de hormigón. Esta Equipo Perforación De Pozo también se puede utilizar en la perforación para rescate en minas y en investigaciones minerales.



**Figura 123:** Equipo Perforación De Pozos SPS2000. (Fuente: <http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html>)

#### Parámetros:

Datos	
<b>Empresa</b>	Zhangjiakou CGE GEO-Machinery Co., Ltd.
<b>País de Origen</b>	China
<b>Modelo</b>	SPS2000
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html">http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html</a>
<b>Tecnología</b>	ACTUAL
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad (m)</b>	1600-2000
<b>Movilidad</b>	FIJA

**Tabla 68:** Características del equipo de perforación SPS2000.

### Plataformas de Perforación



**Figura 124:** Plataforma de perforación hidráulica direccional de CBM/plataforma de perforación de la explotación minera, alto rendimiento. (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

*Descripción detallada del producto.*

<i>Lugar de origen</i>	<i>China</i>
<i>Nombre de la marca</i>	<i>SINOCOREDRILL</i>
<i>Nombre del producto</i>	<i>Plataforma de perforación de GAMC</i>
<i>Tecnología</i>	<i>Actual</i>
<i>Tipo del poder</i>	<i>Diesel</i>
<i>Poder del motor</i>	<i>275Kw</i>
<i>Tipo</i>	<i>Plataforma de perforación rotatoria</i>
<i>Aplicaciones</i>	<i>Petróleo y gas, geotermia, explotación y explotación minera</i>
<i>Esfuerzo de torsión</i>	<i>34000Nm</i>

**Tabla 69:** Características de la plataforma de perforación hidráulica horizontal.

### Plataformas de perforación de GAMC



**Figura 125:** Rotatorio-perforación de TDR -50 con la plataforma de perforación universal de CBM de circulación reversa. (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

*Descripción detallada del producto.*

<i>Lugar de origen</i>	<i>China</i>
<i>Nombre de la marca</i>	<i>FORWARD</i>
<i>Nombre del producto</i>	<i>Plataforma de perforación de GAMC</i>
<i>Tecnología</i>	<i>Actual</i>
<i>Tipo del poder</i>	<i>Diesel</i>
<i>Modelo</i>	<i>TDR-50</i>
<i>Tipo</i>	<i>Plataforma de perforación rotatoria</i>
<i>Aplicaciones</i>	<i>Petróleo y gas, geotermia, explotación y explotación minera</i>
<i>Sistema</i>	<i>Hidráulico</i>

**Tabla 70:** Características de la plataforma de perforación TDR -50  
*Plataforma de perforación montada en remolque de GAMC*



**Figura 126:** Plataforma de perforación montada en remolque (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

*Descripción detallada del producto.*

<i>Lugar de origen</i>	<i>China</i>
<i>Nombre de la marca</i>	<i>SINOCOREDRILL</i>
<i>Nombre del producto</i>	<i>Plataforma de perforación de GAMC</i>
<i>Tecnología</i>	<i>Actual</i>
<i>Tipo del poder</i>	<i>Diesel</i>
<i>Poder del motor</i>	<i>275Kw</i>
<i>Tipo</i>	<i>Plataforma de perforación rotatoria</i>
<i>Aplicaciones</i>	<i>Petróleo y gas, geotermia, explotación y explotación minera</i>
<i>Esfuerzo de torsión</i>	<i>34000Nm</i>

**Tabla 71:** Características de la plataforma de perforación montada en remolque.

Plataforma de perforación rotatoria de GAMC



**Figura 127:** Plataforma de perforación rotatoria (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

*Datos del producto:*

<i>Lugar de origen</i>	<i>China</i>
<i>Nombre de la marca</i>	<i>SINOCOREDRILL</i>
<i>Nombre del producto</i>	<i>Plataforma de perforación de GAMC</i>
<i>Tecnología</i>	<i>Actual</i>
<i>Tipo del poder</i>	<i>Diesel</i>
<i>Poder del motor</i>	<i>275Kw</i>
<i>Tipo</i>	<i>Plataforma de perforación rotatoria</i>
<i>Aplicaciones</i>	<i>Petróleo y gas, geotermia, explotación y explotación minera</i>
<i>Esfuerzo de torsión</i>	<i>34000Nm</i>

**Tabla 72:** Características de la plataforma de perforación rotatoria.

### **Plataformas de perforación direccionales horizontales**



**Figura 128:** Plataforma de perforación direccional horizontal 44T con el motor diesel de WEICHAI-STEYR. (Fuente: <http://spanish.sinocoredrill.com/sale-2105693-trailer-mounted-cbm-drilling-rig.html>)

Datos	
<b>País de Origen</b>	China
<b>Modelo</b>	44T
<b>Contacto</b>	<a href="http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html">http://www.drilling-rig.es/cmb-drill-rig.html</a>
<b>Tecnología</b>	EMERGENTE
<b>Medidas</b>	NE
<b>Profundidad (m)</b>	NE
<b>Movilidad</b>	ORUGA

**Tabla 73:** Características de la plataforma de perforación 44T.

## **6.7. Tecnologías para el aumento de la permeabilidad en la producción de GAMC.**

### **Fracturamiento Hidráulico.**

Este sistema aplica un bajo radio de carga. La penetración de la fractura en la formación puede ser alta debido a la creación de una sola fractura y la posibilidad de bombear grandes volúmenes de fluido. Es el método más utilizado en la producción de GAMC, por lo que se describirá con mayor detalle más adelante.

### **Fracturación asistida por explosivos**

Este método implica un rápido aumento de carga en la capa, lo que da como resultado una zona muy fracturada alrededor del pozo, pero su alcance acostumbra a ser bajo y no suele superar los 3 m. Debido a que la presión excede la mínima y máxima horizontal se crea una fractura radial que puede ser positiva si la geometría cerca del pozo es el principal objetivo.

### **Fracturación por pulsos**

Se encuentra entre las dos anteriores. Se caracteriza porque la presión excede la mínima y máxima horizontal, provocando múltiples fracturas verticales que se extienden de modo radial desde el pozo, con penetraciones de hasta 6 m.

Consiste en la creación de un pulso mediante el uso de un cable para la ignición eléctrica de un propulsor (similar a los cohetes de combustible sólido), que se dirige a través de la formación para crear un pulso a alta presión. Este sistema evita los daños en el pozo, a menudo asociados con fracturación por explosivos. Como añadido a este beneficio, el sistema presenta la ventaja de que el crecimiento vertical de fractura queda limitado a alrededor de la mitad de la longitud horizontal. Esta limitación obedece a que el crecimiento dinámico del gas no da tiempo para el crecimiento en altura.

### **Producción mediante cavidades internas.**

Este sistema es el utilizado en la Cuenca San Juan. Consiste en la creación de una cavidad en el yacimiento mediante la inyección de agua o aire a presión, durante un tiempo entre una y seis horas. Posteriormente se cesa en la inyección, y se abre la válvula de alivio por lo que la presión disminuye rápidamente. El proceso se repite hasta que el pozo se rellena de sólidos, que se eliminan mediante agua o aire creándose una cavidad.

Este sistema aumenta la permeabilidad de modo similar a la fracturación hidráulica, con la ventaja de que causa menor daño a la formación. Los esfuerzos verticales son transferidos horizontalmente, por lo que el carbón se desplaza a la cavidad. El aumento de permeabilidad puede afectar hasta un radio de 90 m.

Se aplica cuando la presión de la cuenca se manifiesta elevada y la permeabilidad alta (mayor de 6 mD). Su coste puede ser menor que el de la fracturación hidráulica, pero sus problemas asociados presentan algunas incertidumbres impredecibles.

La fracturación hidráulica y la fracturación por pulsos son las más aplicadas para la producción de GAMC. Dentro de la fracturación hidráulica podemos diferenciar tres tipos:

CO<sub>2</sub> líquido con apuntalante.

Nitrógeno sin apuntalante.

Fracturación por tubos en espiral.

### **Fracturación hidráulica con CO<sub>2</sub> líquido y con apuntalante.**

La principal desventaja de los fluidos en base agua es que dañan a la reserva, con lo que ha de introducirse más fluido que ha de ser extraído de nuevo. Además se reduce la permeabilidad relativa al gas, debido a geles y residuos químicos, que taponan los poros, e hinchan la formación por la inflamación de arcillas.

Una manera de evitar la formación de los daños, que tiene un largo historial en Canadá, consiste en la fracturación con CO<sub>2</sub> líquido. Los principales beneficios de utilizar el CO<sub>2</sub> líquido son: la eliminación de permeabilidad relativa, la no existencia de gel y otros residuos químicos y la eliminación de agua inducida por la inflamación de arcilla.

Todo esto se debe a que el CO<sub>2</sub> líquido es una mezcla no acuosa y no perjudicial de líquido. En los mantos de carbón, esta técnica puede aportar una pequeña cantidad de mejora de la producción mediante la introducción de CO<sub>2</sub> en el depósito. La principal diferencia entre la fractura con el CO<sub>2</sub> líquido y otros sistemas de fluidos la constituye la mezcla. El apuntalante y el CO<sub>2</sub> deben ser mezclados en un sistema de mezcla a presión, y también deben ser almacenados y transferidos a la mezcla bajo presión, lo que coloca un límite práctico en la cantidad de apuntalante que se puede utilizar con este sistema.

La producción de gas para los pozos es idéntica. Los principales beneficios pueden establecerse como la eliminación de los daños a la formación y la rápida limpieza. Esto puede ser especialmente significativo, ya que muchos pozos de GAMC requieren de seis a nueve meses para la eliminación de agua una vez estimulados. Al proporcionar un mayor beneficio inmediato, el CO<sub>2</sub> líquido puede adquirir un especial valor para pozos de GAMC perforados por delante de la minería a fin de acelerar la desgasificación del carbón.

### **Fracturación hidráulica con nitrógeno gaseoso**

Es también una técnica viable para la estimulación de formaciones potencialmente sensibles a los fluidos en base acuosa, como el carbón. En este caso, el nitrógeno se bombea como un líquido y, a continuación, se calienta para formar un gas antes de ser inyectado. La mecánica de la fractura ocurre como en cualquier otra técnica de fracturación hidráulica, la única diferencia es que el fluido de fracturación es un gas. Por desgracia, el bombeo de nitrógeno como un gas elimina la posibilidad de inyectar apuntalante.

Al igual que ocurre con la hidrofracturación con CO<sub>2</sub> líquido, el principal beneficio de la fractura con gas de nitrógeno lo produce el que no sea acuoso. Muchos operadores de GAMC han indicado que la limpieza de la fractura a veces puede ser muy larga, en algunos casos de varios meses, pero es en estos ambientes de nitrógeno en los que la fractura resulta más beneficiosa. El uso de nitrógeno como fluido de fracturación también puede ayudar en la producción de GAMC a través del refuerzo de las propiedades de producción del nitrógeno por GAMCM.

### **Fracturación hidráulica por tubos en espiral**

Este sistema se utiliza cada día más en la industria petrolera y de gas. Consiste en utilizar un tubo en espiral o coiled tubing en lugar de tubería de perforación para realizar la operación deseada. Las operaciones con tubos en espiral ofrecen varias ventajas sobre los métodos convencionales, incluyendo: la portabilidad, una pequeña huella de pozo y la eliminación de una plataforma petrolífera, por lo que lo convierten en una opción atractiva para GAMC.

Además permite la fractura de múltiples mantos de carbón simultáneamente, lo que mitiga el riesgo de daños al pozo por las múltiples intervenciones y asimismo la herramienta de perforación va asociada a las operaciones de fracturación convencionales, con lo que se reducen los costes.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo de tesis se obtuvieron los siguientes resultados:

Las metodologías de vigilancia tecnológica fueron aplicadas de una forma exitosa para recopilar gran cantidad de información de diferentes fuentes, incluyendo libros, artículos en revistas científicas especializadas, reportes técnicos, regulación, páginas de internet, entre otras. Con dicha información se creó una base de datos ordenada y sistematizada en diferentes temas relacionados del Gas Asociado al Manto de Carbón (GAMC) y al Gas de Minas de Carbón (GMC).

Esta base de datos permite ubicar la información recopilada de una forma mucho más ágil y eficiente. Se considera que esta base de datos puede ser útil para estudiantes de ingeniería, profesionistas en las áreas de la minería, hidrocarburos, reguladores y demás interesados en el tema.

El mapeo tecnológico tomó como base los resultados de la vigilancia tecnológica y permitió ubicar y ordenar las diferentes tecnologías que se emplean en la cadena de valor en los proyectos de aprovechamiento de gas asociado al carbón. El resultado del mapeo tecnológico fue la creación de una representación visual e interactiva de las tecnologías y procesos empleados en dichos proyectos. Esta representación incluye fichas técnicas con la descripción de tecnologías particulares, su área de aplicación, e información de referencia.

El presente trabajo ofrece una perspectiva general del marco teórico y tecnológico del aprovechamiento de gas asociado a minas y mantos de carbón. El cual puede ser empleado como una referencia inicial para la realización de trabajos más detallados.

A partir de la aplicación de metodologías como las empleadas en este trabajo, es posible encontrar combinaciones tecnológicas adecuadas para el óptimo desarrollo de proyectos de aprovechamiento de gas asociado al carbón. De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que para encontrar una combinación tecnológica adecuada es necesario tener un entendimiento y visión integral de estos proyectos.

Con este trabajo se logró plasmar una visión integral y una metodología general que permite encontrar la combinación tecnológica adecuada para un proyecto de aprovechamiento de gas asociado al carbón. Lo anterior es muy importante considerando que esta industria se encuentra en una etapa muy temprana de maduración. Se espera que este trabajo aporte en el desarrollo de la industria nacional.

Una ventaja para el desarrollo de la industria de aprovechamiento de gas asociado al carbón es que existe bastante experiencia en otros países, lo que permite aplicar las mejores prácticas y conocimientos obtenidos para lograr un desarrollo nacional en el mediano plazo.

Con base en experiencias en otros países, al aprovechar el gas asociado a los mantos de carbón se obtendrán beneficios ambientales, de seguridad y económicos ya que reducirá las emisiones de metano a la atmósfera y se mejorará las condiciones de seguridad en las minas.

Los proyectos de aprovechamiento de gas asociado a los mantos de carbón pueden llegar a ser muy atractivos o rentables, ya que el objetivo principal de la industria minera, es el carbón mineral, y el gas metano producido es un subproducto de esta industria, el cual puede ser aprovechado para su autoconsumo o su comercialización.

De manera especial y mediante el análisis de la información se concluyó que las características del gas contenido en carbón coinciden con ciertas características del Gas en Lutitas, esto es de suma importancia, como sabemos los yacimientos de gas en lutitas consumen altos volúmenes de agua, y los costos de estos proyectos son elevados en comparación de los proyectos de aprovechamiento de gas en minas de carbón. Hablando de GAMC, las empresas pueden tomar un referente rápido y mejorar sus prácticas en proyectos de GAMC comparando y analizando las problemáticas de la producción de gas en lutitas, y resolviéndolas.

### ANEXO 1: BASE DE DATOS.

Base de datos ordenados que contienen la información con la que se desarrollaron los temas de esta tesis así como la vigilancia y mapeo tecnológico.

No.	Título	Publica	Año	Autores	País	Clasificación	Tipo de publicación
1	Aprovechamiento y Explotación del Gas Asociado a los Yacimientos de Carbón	F. Ingeniería	2010	David O. Lliteras Popoca, J. Alfonso Sánchez Reyes	México	CBM	Tesis
2	El gas Asociado a los Yacimientos de Carbón Mineral	Academia de Ingeniería	2010	Rafael Alexandri Rionda	México	CBM	Tesis
3	Estimación De Reservas y Recursos Prospectivos de CBM en México	F. Ingeniería	2014	Hernández Ramos Miguel, Mejía González Rubén	México	CBM	Tesis
4	Estudio comparativo del comportamiento de producción de un yacimiento de gas asociado a mantos de carbón bajo diferentes configuraciones de pozo	Universidad Industrial de Santander	2011	Alfonso Rafael Fragoso Amaya	Colombia	CBM	Estudio
5	Estudio de Metano en Capa de Carbón CBM	Dirección General de Política Energética	2014	Miguel Ángel Zapatero, Hermenegildo Mansilla Izquierdo	España	CBM	Estudio
6	Perfil de Mercado del Carbón	S.E.	2014	Coordinación General de Minería	México	CBM	Estudio
7	Water Produced with Coal-Bed Methane	USGS	2010	USGS	E.U.A.	CBM	Artículo
8	Management and Effects of Coal Bed Methane Produced Water in the Western United States	The National Academy of Sciences	2010	William Fisher, James W. Bauder, William H. Clements.	E.U.A.	CBM	Artículo
9	Managing Coal Bed Methane Produced Water for Beneficial Uses, Initially Using the San Juan and Raton Basins as a Model	Sandia National Laboratories	2010	Mike Hightower	E.U.A.	CBM	Estudio
10	Handbook on Coal Bed Methane Produced Water: Management and Beneficial Use Alternatives	All Consulting	2003	U.S. Department of Energy, National Petroleum Technology Office	E.U.A.	CBM	Libro
11	Handbook on Best Management Practices and Mitigations Strategies for Coal Bed Methane in the Montana Portion of the Powder River Basin	All Consulting	2002	U.S. Department of Energy, National Petroleum Technology Office	E.U.A.	CBM	Estudio
12	Coal Bed Methane Best Management Practices a Handbook	Western Governors' Association	2006	Western Governors' Association	E.U.A.	CBM	Manual
13	Coalbed Methane: Best Practices for British Columbia	Dogwood Initiative	2006	Dogwood Initiative	E.U.A.	CBM	Guía

14	Coalbed Methane Principles and Practices_Chap_06	Halliburton	2008	Halliburton	E.U.A.	CBM	Libro
15	Coalbed Methane Principles and Practices_Chap_07	Halliburton	2008	Halliburton	E.U.A.	CBM	Libro
16	Coalbed Methane Principles and Practices_Chap_08	Halliburton	2008	Halliburton	E.U.A.	CBM	Libro
17	Metano en capas de carbo_energía limpia	Oilfield Review	2009	Ahmed Al-Jubori, Sean Johnston	Canada	CBM	Artículo
18	Recomendaciones Ambientales en relación con las medidas preventivas y Correctoras a Considerar en Proyectos Relacionados con la Exploración y Explotación de HC's mediante Técnicas de Fractura Hidráulica	Dirección General de Calidad, Evaluación Ambiental y Medio Natural al Instituto Geológico y Minero de España.	2014	Lucas Vadillo Fernández, Alicia Arenillas González, Celestino García de la Noceda Márquez.	España	CBM	Guía
19	Selection of Best Deilling, Completion and Stimulation Methods for Coalbed Methane Reservoirs	Texas A&M University	2007	SUNIL RAMASWAMY	E.U.A.	CBM	Tesis
20	Desarrollo de los Mapas Tecnológicos y su impacto en el Programa de Eficiencia Operativa de PEP	F. Ingeniería	2013	JUAN LUIS VARGAS GUERRERO	México	MT	Tesis
21	Gestión de Tecnología para el Desarrollo de Proyectos de Pemex	ACADEMIA DE INGENIERÍA, A.C.	2013	José Ramón F. J. Montiel López	México	MT	Reporte
22	Vigilando las Fronteras Tecnológicas	Universidad de Chile	2008	Marcelo González Robles	Chile	VT	Libro
23	Mapas Tecnológicos en la Práctica.	Alcaldía de Medellín	2010	Empresas Públicas de Medellín.	Colombia	MT	Estudio
24	Mapas tecnológicos para la estrategia empresarial.	ACIMED	2002	María V. Guzmán Sánchez y Gilberto Sotolongo Aguilar	Cuba	MT	Artículo
25	Mapas Tecnológicos, Estrategia empresarial y oportunidades de Mercado	Competitive Intelligence Review	2000	P. Escorsa, R. Masponsa y M. Rodríguez	E.U.A.	MT	Trabajo de Divulgación
26	Vigilancia Tecnológica_metodología y aplicaciones	Revista GPT	2012	Bibiana Arango Alzate, Lida Tamayo Giraldo	Colombia	VT	Ensayo
27	Coalbed Methane:Current Evaluation Methods, Future Technical Challenges	SPE	2010	C.R. Clarkson, R.M. Bustin	E.U.A.	CBM	Artículo
28	Estudio Técnico Económico de la Extracción de Metano del Carbón en la Cuenca Guardo-Barruelo	Universidad de León	2014	Jose Antonio Gutiérrez Bravo	España	CBM	Tesis
29	A Guide To Coalbed Methane Operations	Gas Research Institute	1992	Vicki A. Hollub, Paul S. Schafer	E.U.A.	CBM	Guía
30	Yacimientos de CBM_Reestimulación de Fracturas y construcción de pozos de gas	Oilfield Review	2004	Mark A. Andersen, Lisa Stewart	E.U.A.	CBM	Artículo

31	Coalbed Methane: Understanding Key Reservoir Properties and their Influence on Producibility	Dawson Energy Advisors Ltd.	2013	Michael Dawson	E.U.A.	CBM	Estudio
32	La Expansion produccion gas de yacimientos no convencionales	Comisión Nacional de Energía	2011	Alejandro Alonso Suárez, Marta Mingo González	España	CBM	Artículo
33	Fracturación de Pozos para Extracción de Gas	Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.	2013	Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.	México	VT	Estudio
34	The Advanced Technology of Drilling and Completion for CBM in China	CNPC	2015	Ruichen Shen, Zijian Wang, Lei Qiao, Kailong Wang, and Aiguo He	China	VT	Artículo
35	Ligero como una pluma, duro como una roca	Oilfield Review	2001	Abdullah Al-Suwaidi, Christian Hun	E.U.A.	VT	Artículo
36	Nuevas fibras para tratamientos de fracturamiento hidráulico	Oilfield Review	2005	Craig H. Bivins	E.U.A.	VT	Artículo
37	Tubería Flexible: Métodos innovadores de intervención de Pozos	Oilfield Review	2006	Abderrahmane Boumali, Mark E. Brady.	E.U.A.	VT	Artículo
38	Sistemas de bombeo para la producción de agua	Schlumberger	2014	Schlumberger	E.U.A.	VT	Artículo
39	Multi-Seam Well Completion Technology: Implications for Powder River Basin Coalbed Methane Production	U.S Department of Energy	2003	U.S Department of Energy	E.U.A.	VT	Libro
40	Tecnologías en evolución_Bombas eléctricas sumergibles	Oilfield Review	2007	Chad Bremner, Grant Harris.	E.U.A.	VT	Artículo
41	The Status and Development of CBM technology of Mining Area	Energy and Environment Programme	2014	SHEN Baohong	China	VT	Reporte
42	Feasibility Study of Coal Bed Methane Production in China.	Energy and Environment Programme	2010	Luo Dongkun, Zhang Baosheng	China	VT	Estudio
43	An Overview of Current Coalbed Methane Extraction Technologies	The Pennsylvania State University	2015	Hemant Kumar	E.U.A.	VT	Artículo
44	Management and Effects of Coalbed Methane Produced Water in the United States	National Academy of Sciences	2010	WILLIAM L. FISHER, JAMES W. BAUDER, WILLIAM H. CLEMENTS.	E.U.A.	CBM	Artículo
45	An environmental risk assessment for coal bed, coal mine and abandoned mine methane operations in England	Environment Agency	2014	Environment Agency	Inglaterra	CBM	Reporte
46	China's Evolving Energy Governance	National University of Singapore	2010	Lin Yanmei	China	CBM	Estudio
47	China Coalbed Methane: Slow Start and Still Work in Progress.	Energy Studies Institute	2014	Philip Andrews-Speed and Christopher Len	China	CBM	Estudio

48	Critical Succes Factors of CBM Development-Implications of two Strategies to Global Development.	World Petroleum Council	2008	Alex Chakhmakhchev, Bob Fryklund	E.U.A.	CBM	Estudio
49	United States Lower 48 Coalbed Methane—Benchmark (2010)	Elsevier	2014	Stephen W. Lambert	E.U.A.	CBM	Libro
50	COAL BED METHANE PRIMER New Source of Natural Gas— Environmental Implications	U.S. Department of Energy	2003	National Petroleum Technology.	E.U.A.	CBM	Libro
51	Worldwide Coal Mine Methane and Coalbed Methane Activities_Chap_18	Elsevier	2014	Charlee Boger, James S. Marshall, Raymond C.	E.U.A.	CBM	Libro
52	Coal and Coalbed Methane Co-Extraction Technology Based on the Ground Movement in the Yangquan Coalfield, China	Energies	2015	Guozhong Hu, Jialin Xu, Fuxi Zhang, Changchun Zhao, Wei Qin and Yiran Zhu.	China	CBM	Artículo
54	Coalbed methane in the USA: analogues for worldwide development	Geological Society	2008	D. KEITH MURRAY	Inglaterra	CBM	Artículo
55	Indonesia Coalbed Methane: Bountiful Promise Held Up By Institutional Paralysis	Energy Studies Institute	2014	Christoper Len	China	CBM	Estudio
56	Coalbed Methane Modelling Best Practices	IPTC	2013	Jared Anthony Philpot, Saikat Mazumder.	E.U.A.	CBM	Artículo
57	Coalbed Methane: From Prospect to Pipeline	ELSEVIER	2015	Pramod Thakur, Kashy Aminian	E.U.A.	CBM	Libro
58	Coal bed Methane: Vision for Clean Energy	Center for Energy and Global Development	2013	Center for Energy and Global Development	E.U.A.	CBM	Reporte
59	Comparison of Computation Methods for CBM Performance	CANADIAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGY & PETROLEUM	2007	C.A. MORA, R.A. WATTENBARGER, S. MCKETTA	Canada	CBM	Artículo
60	Coalbed Methane Development: Practices and Progress in Canada	Journal of Canadian Petroleum Technology	2005	J. Michael Gatens	Canada	CBM	Artículo
61	Horizontal degasification and characterization of coals in the Sabinas Sub-basin, Mexico: implications for CBM production.	CANADIAN PETROLEUM GEOLOGY	2006	THOMAS GENTZIS, KEITH MURRAY, RENEE KLINGER.	Canada	CBM	Artículo
62	Dewatering Coalbed Methane Wells Using ESPCPs	Canadian International Petroleum Conference/SPE	2001	M.B. KRAWIEC, C.M. FINN, J.R. COCKBILL, D.E FORTNUM	Canada	CBM	Artículo
63	Coalbed methane (CBM) exploration, reservoir characterisation production, and modelling: A collection of published research (2009e2015)	ELSEVIER	2015	Zhejun Pan, David A. Wood	Australia	CBM	Libro

64	Coalbed Methane Extraction: Detailed Study Report	EPA	2010	Environmental Protection Agency	E.U.A.	CBM	Estudio
65	World Coalbed Methane Projects	Polish Geological Institute	2002	Stanislaw RYCHLICKI, Kazimierz TWARDOWSKI	Polonia	CBM	Artículo
66	CSG Water Treatment and Beneficial Use	GasFields Commission Queensland	2014	GasFields Commission Queensland	Australia	CBM	Artículo
67	Formation Evaluation of Coalbed Methane Formations	JCPT	1994	R, AGUILERA	Canada	CBM	Artículo
68	Formation Evaluation of Exploration Coalbed Methane Wells	SPE	1994	M.J. Mavor, J.C. Close	E.U.A.	CBM	Artículo
69	Technical and Economic Evaluation of Undersaturated Coalbed Methane Reservoirs	SPE	2006	F.M. Carlson.	E.U.A.	CBM	Artículo
70	Production Data Analysis of Coalbed Methane Wells	SPE	2008	C.R. Clarkson, C.L. Jordan	E.U.A.	CBM	Artículo
71	Coalbed-Methane Pilots: Timing, Design, and Analysis	SPE	2008	R.D. Roadifer, T.R. Moore	E.U.A.	CBM	Artículo
72	Drilling and Completion Technique Selection for Coalbed Methane Wells	SPE	2013	J. Caballero	E.U.A.	CBM	Artículo
73	Preliminary Resource Assessment of Coal bed Methane in the U.S.	SPE	1992	Charles W. Byrer, Rodney D. Malone	E.U.A.	CBM	Artículo
74	Variability in Coalbed-Methane Well Performance: A Case Study	SPE	1991	M.D. Zuber, S.R. Reeves.	E.U.A.	CBM	Artículo
75	Comparison of Methane Production From Coalbeds Using Vertical or Horizontal Fractured Wells	SPE	1992	F.X. Delmbacher, M.J. Economides.	E.U.A.	CBM	Artículo
76	Impact of Various Parameters on the Production of Coalbed Methane	SPE	2013	Zhongwei Chen, Jishan Liu	E.U.A.	CBM	Artículo
77	Powder River Basin Coalbed Methane Wells-Reserves and Rates	SPE	2007	Gary S. Swindell	E.U.A.	CBM	Artículo
78	Worldwide Coalbed Methane Overview	SPE	2007	Alex Chakhmakhchev	E.U.A.	CBM	Artículo
79	Coalbed Methane Cementing Best Practices -Indian Case History	SPE	2010	Haidher Syed Gaus Mohammad	E.U.A.	CBM	Artículo
80	Development of a series of National Coalbed Methane Databases	SPE	2005	S.D. Mohaghegh, U.N. Nunsavathu	E.U.A.	CBM	Artículo
81	Analysis of International Best Practices for CMM Recovery and Utilization	Agencia de Protección Ambiental (EPA)	2009	Agencia de Protección Ambiental (EPA)	E.U.A.	CMM	Estudio
82	Balance Nacional de Energía	Secretaría de Energía	2014	Secretaría de Energía	México	CMM	Estudio
83	Barriers and Opportunities for Reducing Methane Emission from Coal Mines	Clean Air Task Force	2012	Clean Air Task Force	E.U.A.	CMM	Artículo
84	United States Lower 48 CBM-Benchmark (2010), Chapter 17	ELSEVIER	2010	Stephen W. Lambert	E.U.A.	CBM	Libro

85	Capture and Use of VAM-Air Methane	Project Facts	2013	William O'Down	E.U.A.	CMM	Artículo
86	Coal in México	Independiente	2014	Robert Bruce Wallace	México	CMM	Artículo
87	CBM in the USA: Analogues for worldwide development	Sociedad Geológica de U.S.A.	1996	Keith Murray	E.U.A.	CBM	Artículo
88	CBM-From Prospect Pipeline	ELSEVIER	2016	Thakur et. Al.	E.U.A.	CBM	Libro
89	CBM. Clean Energy for the World	Oil Review Summer	2009	Al-Jubori Ahmed et. Al.	E.U.A.	CBM	Artículo
90	CBM Gas- A Nonconventional Source of Energy in Mexico	Colegio de Ingenieros Petroleros Mexicanos	2005	Suro Perez, Roca Ramisa	México	CBM	Artículo
91	CMM and CBM Co extraction technology Based on the Ground Movement in the Yangquan Coalfield, China	Energies	2015	Guozhong Hu, Jialin Xu	China	CMM	Artículo
92	U.S. Coal mine Methane Conference, Pitsburg	BHP Billinton	2008	Patrick Booth	E.U.A.	CMM	Symposium
93	Underground Desgasification and CMM projects at Minerals Monclova	Independiente	2015	Mario Santillan	México	CMM	Artículo
94	Desperdicio del Metano en México	Coordinación General de Minería	2014	Francisco Querol Suñe	México	CBM-CMM	Artículo
95	Methane drainage in longwall coal mining	Journal of the South Africa Institueof Minning and Metallurgy	1989	A. W. de Villers	E.U.A.	CMM	Artículo
96	Methane Drainage at the Minerals Monclova Mines in the Sabinas Coal Basin, Coahuila, Mexico	Independiente	2015	J. Brunner, Ruben Ponce	México	CBM	Artículo
97	El Gas asociado a los yacimientos de carbón mineral	Al México	2010	Alexandri Rionda	México	CMM	Libro
98	The methane content of San Juan basin coal, implivations of CBM resources assessments	SPE/DOE	2014	M. Smith, Frank L. Williams	E.U.A.	CMM	Artículo
99	The Use of Simulation and History Matching to Determine Critical CBM Reservoir Propierties	SPE/DOE	2013	M.D. Zuber et. Al.	E.U.A.	CBM	Artículo
100	Legal and regulatory status pf CMM ownership in key countries, Considerations for decision Makers	Global Methane Initiative	2014	Global Methane Initiative	E.U.A.	CMM	Estudio
101	Economic and Reserve Evaluation of CBM Reservoirs	SPE	1991	Rahul Dhir	E.U.A.	CBM	Artículo
102	Geologic Evolution and Gas Resources of the Sabinas Basin in Northeastern Mexico	SPE	2001	Samuel Eguiluz de Antuñano	México	CMM	Artículo
103	Expansion produccion gas de yacimientos no convencional Cuadernos Energia	Cuadernos de Energía	2010	Alonso Suarez, Mingo González	México	CBM	Estudio

104	Chinas involving energy governance	Dirección de Energía	2011	Dirección de Energía	China	CMM	Revista
105	Explotación del Gas Grisú en yacimientos de Carbón	Comisión Nacional de Hidrocarburos	2015	Comisión Nacional de Hidrocarburos	México	CMM	Estudio
106	CMM Drainage methods and their implications on optimization of safety, economic benefit from coal production and beneficial use of methane	Hel-EATS ltd	2016	Hel-East Ltd.	E.U.A.	CMM	Estudio
107	Geólogos de cuencas craboníferas de sabinas	Independiente	2012	Martínez Meza	México	CMM	Estudio
108	Glossary of CMM terms and definitions	Naciones Unidas	2008	Naciones Unidas	E.U.A.	CMM	Estudio
109	Greenhouse gas credits and renewable energy incentives for coal mine methane projects	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	2011	Coté, Michael	E.U.A.	CMM	Estudio
110	Influence of coal characteristic and Geology on Methane drainage	SPE	2011	Gerald L. Finfinger	E.U.A.	CBM	Artículo
111	La minería mexicana, su evolución, retos y Perspectivas	Culturas y Sistemas Juridicos	2010	Dr. Eliseo Muro Ruiz	México	CMM	Estudio
112	Handbook for mineral and coal exploration in british columbia	Ministerio de Energía	2008	Ministerio de Energía	E.U.A.	CMM	Libro
113	Oil and Gas production handbook, An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry	ABB	2013	ABB	Noruega	CBM	Libro
114	Poland coal sector update to the 21 st session of global methane initiative coal subcommite	Instituto Central de Minería	2015	Instituto Central de Minería	Polonia	CMM	Estudio
115	Abandoned Mine Methane	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	2008	Jayne Somers	E.U.A.	CMM	Estudio
116	Mina de carbón; Metano en Rusia, la captura de la seguridad y los beneficios ambientales	IEA, Documento de Información	2009	IEA, Documento de Información	Rusia	CMM	Libro
117	Nanshan Coalmine Methane Utilization Project	CDM Project	2004	CDM Preject Design	China	CMM	Libro
118	New solutions for Use of CMM.Reduction of GHG Emissions	CoMeth	2012	Zeidler Frandich	Alemania	CMM	Libro
119	Legal Issues Associated wiyh CBM Development	ELSEVIER	2015	O. Flanery, J. Morgan	E.U.A.	CBM	Libro
120	Thermal Oxidation of Coal mine ventilation air methane	North American Mine Ventilation Symposium	2008	Somers; Schultz	E.U.A.	CMM	Artículo
121	Panorama Minero del Estado de Coahuila	Servicio Geológico Mexicano	2014	Servicio Geológico Mexicano	México	CMM	Estudio
122	Coal Mine Methane country profiles	Global Methane Initiative	2015	Global Methane Initiative	E.U.A.	CMM	Libro

124	Ventilation planning at the Minerales Monclovas Mines	North American Mine Ventilation Symposium	2015	J. R. P. Aguirre	México	CMM	Artículo
125	CBM Potential of the Appalachians	SPE/DOE	2015	Adams. Margaret A.	E.U.A.	CBM	Artículo
126	CBM Potential in the Sabinas Basin, Mexico	Independiente	2016	Murray & Klinger	Canada	CBM	Artículo
127	MEGTEC VAM Processing	MEGTEC	2012	Mattus Richard	Australia	CBM	Estudio
128	Producción Minero-Metalurgico	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana	2013	Anuario Estadístico de la Minería Mexicana	México	CMM	Libro
129	CMM Recovery and Utilization Minosa Mines Mina La Esmeralda	Minosa	2013	Minosa	México	CMM	Artículo
130	World CBM Projects	Polish Geological Institute Special Papers	2002	Richliky; Tardowsky	Rusia	CBM	Artículo
131	Interference Testing of a CBM Reservoir	SPE	2014	Koening R.A.	E.U.A.	CBM	Artículo
132	Laboratory Test to determine Parameters for Hydraulic Fracturing of CBM	SPE	2015	G.S. Penny	E.U.A.	CBM	Artículo
133	CMM flaring technology and case studies	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	2010	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	E.U.A.	CMM	Artículo
134	Coal Mine Methane Recovery, A primer	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	2009	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	E.U.A.	CMM	Libro
135	Methane Recovery and Utilization from Coalbeds	SPE	1987	Robert L. Wise	E.U.A.	CBM	Artículo
136	Recovery and use of CBM	Westinghouse Electric Corporation	2014	Westinghouse Electric Corporation	E.U.A.	CBM	Artículo
137	Enhanced CBM.CMM Recovery	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	2005	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	E.U.A.	CBM	Artículo
138	Recovery and use of methane associated to Mexican coal mines	SEMARNAT	2007	Torres Flores	México	CMM	Estudio
139	The Coal Resource	World Coal Institute	2010	World Coal Institute	E.U.A.	CMM	Libro
140	CBM Resources of the Sabinas Basin, Coahuila, Mexico	North American Mine Ventilation Symposium	2003	Samuel Eguiluz de Antuñano	México	CBM	Libro
141	Australian Energy Resource Assessment	Gobierno de Australia	2014	Gobierno de Australia	Australia	CMM	Libro
142	The Unconventional Hydrocarbon Resource of Britains Onshore Basins.CBM	Energy and Climate Change	2013	Harvey Tony & Gray Joy	Inglaterra	CBM	Libro
143	Worldwide CMM and CBM Activities	ELSEVIER	2010	Charlee Boger, S. Marshall, C. Pilcher	E.U.A.	CBM-CMM	Libro
144	Financial and regulatory incentives for U.S. Coal Mine Methane Recovery Projects	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	2012	Agencia de Proteccion Ambiental (EPA)	E.U.A.	CMM	Artículo

145	An environmental risk assessment for coal bed, coal mine and abandoned mine methane operations in England	Agencia Ambiental	2015	Agencia Ambiental	Inglaterra	CBM-CMM	Libro
146	Energy Policy Highlights	Agencia Internacional de Energía (IEA)	2014	Agencia Internacional de Energía (IEA)	E.U.A.	CMM	Libro
147	A 2012 update on the world VAM oxidizer technology market	North American Mine Ventilation Symposium	2012	Somers; Burklin	E.U.A.	CMM	Artículo
148	An Overview of Current CBM Extraction Technologies	Independiente	2014	Hemant Kumar & P. Mathews	E.U.A.	CBM	Artículo
149	A proposed system for capturing energy from ventilation air methane	Univercidad de Exeter	2015	D. L. Cluff	Inglaterra	CMM	Estudio
150	Utilización de CMM en minas de carbón de OAO "Suek-Kuzbass"	Emissions- ET GmbH., Adam Hadulla	2008	Emissions- ET GmbH., Adam Hadulla	Rusia	CMM	Libro
151	MIne-Ventilation Stoppings	Departamento Interno de Minas de Bureau	2008	Van. H. Manning	E.U.A.	CMM	Estudio
152	Glosario Técnico	Ministerio de Minas y Energía	2003	Ministerio de Minas y Energía	Colombia	CMM	Libro
153	Explotación y Operación de Minas	Independiente	2015	Hernandez R., Franco J.	México	CMM	Estudio
154	Coal Science vol III	ELSEVIER	1995	Pajares, Tacson	E.U.A.	CMM	Libro
155	Coal Geology Research Progress	NOVA	2008	Michel Thomas, Fournier Hugo	E.U.A.	CMM	Libro
156	German Creek Power Station	Energy Developments	2006	Energy Developments	Alemania	CMM	Artículo
157	Characterization of CBM Reservoirs, A Unified Geoscience and Engineering Approach	IPTC	2015	C. Le turdu, R. Laver	E.U.A.	CBM	Artículo
158	Independent Review of Coal Seam Gas Activities in NSW Informer paper- Abandoned Wells	Gobierno de Gales	2014	Gobierno de Gales	Gales	CBM	Estudio
159	Environmental Management of CMM	Mimosa	2009	Mimosa	México	CBM	Estudio
160	The Narrabi Coal Seam Gas Project	IEEFA	2014	IEEFA	Australia	CMM	Estudio
161	Moranbah North Power Station	Energy Developments	2008	Energy Developments	Australia	CMM	Artículo
163	Progress in Developing Ventilation Air Methane Mitigation and Utilisation Technologies	Exeter	2014	L. Cluff	Inglaterra	CMM	Artículo
164	Explosion hazards from methane emissions related to geological features in coal mines	CDC	2008	P. Ulery James	E.U.A.	CMM	Estudio
165	Coal Mining	RI	2010	Blureau of Labor Statics	E.U.A.	CMM	Estudio
166	Geological Factors Affecting Methane in the Beckley Coalbed	Blureau of Labor Statics	1976	J. T. Popp	E.U.A.	CMM	Libro

167	Metano de las Minas de Carbón oportunidades de recuperación y utilización	Global Methane Initiative	2011	Global Methane Initiative	E.U.A.	CMM	Artículo
168	Handbook for methane control in mining	CDC	2006	Fred N. Kissell	E.U.A.	CMM	Libro
169	Measuring the methane content of bituminous coalbeds	RI	1975	McCulloch Et.al.	E.U.A.	CMM	Libro
170	VAM Fuelled Power Plant	MEGTEC	2007	MEGTEC	E.U.A.	CMM	Estudio
171	Methane Technologies for Mitigation and Utilisation	Independiente	2015	Independiente	E.U.A.	CMM	Estudio
172	El origen de los energéticos	IPN	2007	Villa Rivera Jose, Paradas Arias Efrén	México	CMM	Libro
173	Hydraulic fracturing techniques including reporting requirements and governance arrangements	Gobierno de Australia	2014	Gobierno de Australia	Australia	CBM	Libro
174	Horizontal Drilling at Mine III in Minerales Monclova in the Sabinas Basin Coahuila, México	Independiente	2005	Hernandez R., Franco J.	México	CBM	Estudio
175	Concepts in coalmine ventilation and development of the vam TurBurner for extraction of thermal energy from underground air methane	Exeter	2014	Daniel L, Cluff P. Phys	Inglaterra	CMM	Libro

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Romeo M. Flores. "Coal and Coalbed Gas". First Edition 2014.
- Coordinación General de Minería, Secretaría de Economía. "Perfil de Mercado del Carbón". Diciembre 2014.
- Thomas Michel and Hugo Fournier. "Coal Geology Research Progress". 2008.
- Larry Thomas. "Coal Geology". Second Edition 2013.
- Miguel Ángel Zapatero, Roberto Martínez Orío, Hermenegildo Mansilla Izquierdo. "Estado del arte de la exploración, evaluación y producción de metano en capa de carbón (CBM)". Madrid, diciembre 2014.
- Alfonso Rafael Fragoso Amaya. "Estudio Comparativo del Comportamiento de Producción de un Yacimiento de gas Asociado a Mantos de Carbón bajo diferentes configuraciones de pozo". Estudio de Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2011.
- Western Governors Association. "Coalbed Methane Best Management Practices a Handbook". April 2006.
- DOOGWOOD Initiative. "Coalbed Methane: Best Practices for British Columbia".
- Halliburton Company. "Coalbed Methane: Principles and Practices". Chapters 6, 7, 8. 2008.
- United State Geological Survey. "Water Produced with Coal-Bed Methane". November 2000.
- U.S. Department of Energy. "Handbook on best management practices and mitigation strategies for Coalbed Methane in the Montana Portion of the Powder River Basin". April 2002
- Instituto Geológico y Minero de España. "Recomendaciones ambientales en relación con las medidas preventivas y correctoras a considerar en proyectos relacionados con la exploración y explotación de hidrocarburos mediante técnicas de fracturación hidráulica". Enero 2014.
- Juan Luis Vargas Guerrero. "Desarrollo de los mapas tecnológicos y su impacto en el programa de eficiencia operativa de PEMEX Exploración y Producción". Tesis, febrero 2013.
- P. Escorsa, R. Masponsa y M. Rodríguez. "Mapas tecnológicos, estrategia empresarial y oportunidades de mercado". 2000.
- Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo, Universidad de Chile. "Vigilando las Fronteras Tecnológicas".
- Bibiana Arango Alzate. "Vigilancia Tecnológica: Metodologías y Aplicaciones". Edición No. 13, 2012.
- C. R. Clarkson, R. M. Bustin. "Coalbed Methane: Current Evaluation Methods, Future Technical Challenges". SPE 2010.
- José Antonio Gutiérrez Bravo. "Estudio Tecno-económico de la extracción de metano del carbón en la cuenca Guardo-Barruelo". Trabajo fin de Master, 2014.

- Vicki A. Hollub, Paul S. Schafer. "A Guide to Coalbed Methane Operations". 1992.
- Oilfield Review, Schlumberger. "Yacimientos de metano en capas de carbón".2003.
- Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. "Fracturación de pozos para extracción de gas". Expediente 387.
- Ruichen Shen, Zijian Wang, Lei Qiao, Kailong Wang, and Aiguo He. "The Advanced Technology of Drilling and Completion for CBM in China".2015.
- Underground Mining Methods Handbook STEFANKO, R. Coal Mining Technology.
- Atlas Copco, Blasthole Drilling in Open Pit Minig, Tercera Edición 2012, E.U.
- Environmental Protection Agency, Coal Mine Methane Recovery: A Primer, 2009, E.U.
- Energy Information Administration, Bituminous Coal and Lignite Production and Mine Operations, 1978, E.U.
- EMFI Summary, Coal Mining Methods.
- World Coal Institute, The Coal Resource a Comprehensive Overview of Coal, 2005
- Departamento de Recursos y Energía, A Guide to Leading Practice Sustainable Dvelopment in Mining, 2011, Australia
- Ministero de Energá y Recursos Petroleros, Handbook for Mineral and Coal Exploration in British Columbia, 2008, Canadá
- INtroducción a la Minería
- Ramos, Víctor; Megaminería a Cielo Abierto; FCEyN-UBA, 2010
- New Acland Coal Mine Stage 3 project, Gobierno de Queensland, 2014
- Fondo de Inovación Tecnológica, CONACYT, 2015
- Freddy Vargas, Oscar Castellanos; Vigilancia como herramienta de innovación y desarrollo tecnológico, revista ingeniería e invastigación, vol 25, 2005.
- OGP, Flaring & venting in the oil & ags exploration & production industry, 2000
- Banco Mundial, Normas de Aplicación voluntaria para la reducción mundial de la quema y venteo de gas