

**CONSTRUCCION DE UN MODELO PARA COLOMBIA DE
APROVECHAMIENTO U OXIDACIÓN DE GAS METANO DE LOS DUCTOS DE
VENTILACIÓN (VAM) DE LAS MINAS SUBTERRÁNEAS DE CARBÓN**



**CONSORCIO GEOIL- SERGEING- METANO COAL
NIT. 901.101.028-8**



CH₄-COAL
CONSORCIO GEOIL SERGEING-METANO COAL



**Entregable 3
INFORME INTEGRADO FINAL**

PROCESO DE OFERTA PÚBLICA No. 011 – 2017

CONTENIDO

<u>1.</u>	<u>GLOSARIO.....</u>	<u>15</u>
<u>2.</u>	<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>21</u>
<u>3.</u>	<u>ENTREGABLE 1: METODOLOGÍA DETALLADA.....</u>	<u>23</u>
3.1.	ENFOQUE DEL ESTUDIO	23
3.1.1.	Objetivo 1.....	24
3.1.2.	Objetivo 2.....	27
3.1.3.	Objetivo 4.....	29
3.1.4.	Objetivo 5.....	30
3.1.5.	Objetivo 6.....	31
3.1.6.	Objetivo 7.....	32
3.1.7.	Objetivo 8.....	33
3.1.8.	Objetivo 9.....	34
3.2.	PROCEDIMIENTO - ELEMENTOS DEL DIAGNOSTICO DE TECNICO	35
3.3.	PLAN DE PROYECTO Y CRONOGRAMA.....	38
<u>4.</u>	<u>ENTREGABLE 2: DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN MINERA DEL ÁREA PILOTO.....</u>	<u>39</u>
4.1.	PANORAMA DEL CARBÓN Y EL GAS ASOCIADO A NIVEL GLOBAL..	39
4.1.1.	Cuantificación de Emisiones	39
4.1.2.	Diferencia contenido y emisión de gas.....	39
4.1.3.	Metano como un gas de efecto Invernadero.	39
4.1.4.	Colombia y las reducciones de emisiones de metano.....	40
4.1.5.	Metano en el sistema de Ventilación VAM	40
4.2.	MÉTODOS DE DESGASAMIENTO PARA EXTRACCIÓN DEL GAS METANO.....	43
4.2.1.	CBM (Coal Bed Methane)	45
4.2.2.	CMM (Coal Mine Methane)	47
4.2.3.	VAM (Ventilation Air Methane)	49
4.3.	TECNOLOGÍAS. VAM.....	50

4.3.1. Sistemas De Incineradores De Gas Metano.....	50
4.3.2. Regenerative Thermal Oxidizer - RTO	55
4.4. DIAGNÓSTICO INTERNACIONAL PROYECTOS EXITOSOS VAM.....	61
4.4.1. Historia De Proyectos Exitosos De VAM.....	61
4.4.2. Una Planta de Energía A Partir de VAM Exitosa	64
4.4.3. Mercado De VAM En El Mundo	64
4.4.4. Costos Tecnología De Drenaje De Gas Metano	67
4.4.5. Usos de CMM	70
4.4.6. Compensaciones De Carbono Y Método De Mina De Carbón.....	70
4.4.7. Políticas E Incentivos Internacionales	71
4.4.8. Políticas E Incentivos Para Proyectos De Mitigación De Emisiones De Gas Metano.	76
4.5. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE PROYECTOS INTERNACIONALES	81
4.5.1. Proyecto Mina De Carbón De Thoresby.....	81
4.5.2. Proyecto Appin Colliery.....	82
4.5.3. Proyecto Westcliff Ventilation Air Methane Project – WestVAMP.....	85
4.5.4. Proyecto Mina Windsor (Manto Pocahontas)	88
4.5.5. Proyecto Zhengzhou.....	89
4.5.6. Proyecto Mine JWR-7 y 4, Cuenca Black Warrior	91
4.5.7. Proyecto Pingmei.....	92
4.5.8. Proyecto Chongqing Datong Coalmine	93
4.5.9. Proyecto Wantian Coal Mine.....	94
4.5.10. Proyecto Jiada Coal Mine	96
4.5.11. Proyecto Hancheng	98
4.5.12. Proyecto Jizhong Energy Zhangjiakou Mining Group Co., Ltd. Xuandong Coalmine	100
4.5.13. Proyecto Comprehensive Utilization Project of Taiyuan, Shanxi Province	104
4.5.14. Proyecto Shanxi LuAn Group Gaohe Mine	106

4.5.15.	Proyecto Shaanxi Tongchuan Jiaoping Mining Area	108
4.6.	DIAGNOSTICO TÉCNICO DE LAS MINAS UBICADAS EN LAS ÁREAS PILOTO.....	110
4.6.1.	Descripción Area Piloto.....	110
4.6.2.	Descripción De Las Minas.	115
4.6.3.	Criterios Para La Selección De Las Minas Para Formular El Proyecto. 171	
4.7.	LÍNEA BASE DE EMISIONES DE GAS METANO EN EL AREA PILOTO 182	
4.7.1.	Contenido De Metano En Las Minas Del Area Piloto	182
4.7.2.	Calculo De Emision De Metano En Las Minas Del Area Piloto.....	183
4.8.	PROPUESTAS PARA APROVECHAMIENTO U OXIDACION DE GAS METANO.....	186
4.9.	ESTRATEGIAS QUE FACILITEN LA PUESTA EN MARCHA DE UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO O QUEMA DE GAS METANO DE LOS DUCTOS DE VENTILACION DEL AREA PILOTO.....	187
4.9.1.	Líneas Estratégicas.	188
4.9.2.	Líneas Instrumentales.....	188
4.9.3.	Líneas De Acción de la PNCC	188
4.9.4.	Matriz DOFA	189
4.9.5.	Estrategias.....	190
5.	<u>ENTREGABLE 3: PROYECTO PILOTO.....</u>	196
5.1.	MINAS SELECCIONADAS.....	196
5.1.1.	Propuesta 1: San Miguel – Canales – Inclinado Diamante 7. (Minas De Uniminas Y Promincarg)	196
5.1.2.	Propuesta 2: Minas Volcán-Mortiño (Promincarg).	197
5.2.	TECNOLOGÍAS APLICABLES A LOS PROYECTOS PROPUESTOS..	199
5.2.1.	Tecnología a Aplicar.	199
5.2.2.	Selección de la Tecnologías para VAM más apropiadas.....	207
5.2.2.2.	Método de comparación.....	209
5.3.	ADECUACIONES NECESARIAS DE LOS PROYECTOS SELECCIONADOS	213

5.3.1. Proyecto 1: San Miguel–Canales – Inclinado Diamante 7.	214
5.3.2. Proyecto 2: Volcán – Mortiño.	217
5.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.	218
5.4.1. Flujo De Caja Simulador USEPA	222
5.4.2. Flujo de Caja Financiero (Datos Colombia)	231
<u>6. GUIA METODOLÓGICA.....</u>	<u>239</u>
6.1. INTRODUCCIÓN	239
6.1.1. Política Colombiana De Cambio Climático	240
6.1.2. La Importancia Del Aprovechamiento O Quema De Gas Metano.....	241
6.1.3. Seguridad Minera.....	244
6.1.4. Tecnologías VAM.....	247
6.2. GUIA PRÁCTICA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN PROYECTO VAM EN MINAS SUBTERRNEAS DE CARBON EN COLOMBIA.....	249
6.2.1. Diagnostico Minero	249
6.2.2. Geología	250
6.2.3. Recursos y Reservas de Metano	251
6.2.4. Descripción de La Mina.....	253
6.2.5. Producción de VAM	258
6.2.6. Estudio de alternativas para La selección del Equipo para aprovechamiento o eliminación del VAM	264
6.2.7. Diseño y adecuación del Área para la construcción de las Instalaciones de Soporte.	270
6.2.8. Estudio económico financiero-	270
6.2.9. Modelo Para Compilación De Información De Un Proyecto VAM....	274
6.3. BIBLIOGRAFÍA	276
<u>7. PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN.....</u>	<u>278</u>
7.1. NORMAS Y REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL SOBRE MANEJO DE METANO EN MINAS GRISUTUOSAS.....	278
7.1.1. Estados Unidos de América	278
7.1.2. México	279

7.1.3. Organización Internacional de Trabajo (OIT).....	280
7.1.4. Comparación Normas Internacionales Con La Norma Colombiana....	281
7.2. PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN PARA MINAS GRISUTUOSAS Y DE APROVECHAMIENTO DE GAS METANO DE LOS DUCTOS DE VENTILACIÓN VAM.....	287
7.2.1. Decreto 1886- 2015	287
7.3. Propuesta de instalación y puesta en marcha equipo del equipo de oxidación	306
7.4. CONCLUSIONES.....	309
7.5. BIBLIOGRAFIA	310
<u>8. CONCLUSIONES.....</u>	<u>311</u>
• Capacitación de personal profesional, técnico y operativo en este tipo de proyectos.	315
<u>9. RECOMENDACIONES.....</u>	<u>316</u>
<u>10. REFERENCIAS.....</u>	<u>319</u>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de las actividades principales o ruta del estudio	25
Figura 2. Objetivo 1. Elaboración del contratista.....	27
Figura 3. Objetivo 2. Fuente. Elaboración del contratista.....	28
Figura 4. Objetivo 3. Fuente. Elaboración del contratista.....	29
Figura 5. Objetivo 4. Fuente. Elaboración del contratista.....	30
Figura 6. Objetivo 5. Fuente. Elaboración del contratista.....	31
Figura 7. Objetivo 6. Fuente. Elaboración del contratista.....	32
Figura 8. Objetivo 7. Fuente. Elaboración del contratista.....	33
Figura 9. Objetivo 8. Fuente. Elaboración del contratista.....	34
Figura 10. Objetivo 9. Fuente. Elaboración del contratista.....	35
Figura 11. PLAN DE PROYECTO Y CRONOGRAMA.....	38
Figura 12. Emisiones de metano antropogénico en los Estados Unidos.....	42
Figura 13. Diseño esquemático de un sistema subterráneo de drenaje de minas de carbón e instalaciones de superficie para la recuperación de energía y reducción de CMM.....	44
Figura 14. Optimización de la recuperación de energía con la extracción de emisiones de metano cercanas a cero.	45
Figura 15. Diagrama Esquemático de extracción de gas metano por medio de CBM.....	47
Figura 16. Diagrama Esquemático de extracción de gas metano por medio Perforación Horizontal.....	48
Figura 17. Diagrama de Perforación en Derrumbe de Tajo Largo.	49
Figura 18. Diseño de Sistema de Ventilación y Ventilador Principal.....	50
Figura 19: Principales funciones de un incinerador.....	56
Figura 20. Tipos de incineradores.	58
Figura 21. Diagramas de flujo de un RTO de 2 cámaras.....	59
Figura 22. Principales Proyectos de Prueba de VAM a nivel mundial.....	61
Figura 23. Oxidante Térmico Regenerativo de MEGTEC	69

Figura 24. Número de leyes y políticas sobre cambio climático.....	72
Figura 25. Primera Demostración 1994.- Thorseby Coal Mine.....	82
Figura 26. Esquema de reducción de VAM y generación de energía en Appin, Australia.....	84
Figura 27. Planta de energía de Appin.....	84
Figura 28. Panorámica Estación Appin.....	85
Figura 29. Diseño proyecto WestVAMP.....	87
Figura 30. Instalaciones del proyecto WestVAMP.....	87
Figura 31. Proyecto VAM en mina Windsor,.....	89
Figura 32. Montage para VAM en proyecto Zhengzhou (UN-ECE, 2010).....	90
Figura 33. Proyecto VAM en Brookwood, Alabama.....	92
Figura 34. Carta de Flujo del proyecto VAM de Oxidación sin llama.....	94
Figura 35. Oxidante sin llama VAM.....	100
Figura 36. Sistema de seguridad para el transporte de CMM.	103
Figura 37. Unidades de mezcla de CMM con el sistema de corriente y seguridad VAM.....	103
Figura 38. Límite del proyecto.....	104
Figura 39. Sistema del Proyecto.....	106
Figura 40. Diagrama de flujo del proyecto propuesto.....	108
Figura 41. Diagrama de flujo de las RTO.....	108
Figura 42. Localización del departamento de Cundinamarca.....	111
Figura 43. Áreas Piloto.....	112
Figura 44. Localización sinclinal Checua-Lenguazaque en Cundinamarca.....	113
Figura 45. Columna Estratigráfica Formación Guaduas.....	117
Figura 46. Columna estratigráfica, Formación Cacho.....	118
Figura 47. RTO instalado en una fábrica.....	200
Figura 48. Esquema RTO.....	201
Figura 49. Ventilación con évasé a la salida de una mina subterránea de carbón.	203

Figura 50. Esquema distancia entre el évasé y el RTO	204
Figura 51. Curvas características del ventilador de transporte VAM.....	205
Figura 52. Porcentajes de metano (minas) comparados con las diferentes tecnologías.....	210
Figura 53. Porcentajes de metano (minas) comparados con las diferentes tecnologías.....	211
Figura 54. Modelo de Flujo de Caja de Proyectos de Metano de minas de Carbón	222
Figura 55. Requerimientos de capital y VPN del proyecto sin un mercado de carbono.	227
Figura 56. Análisis de flujos de caja para el proyecto VAM-RTO, sin fuente de ingresos.....	228
Figura 57. Análisis de flujo para el proyecto VAM-RTO - ventas de carbono a US \$14,75/ ton CO ₂ e. El Volcán – El Mortino	229
Figura 58. Punto de equilibrio de precio de carbón para cada escenario.....	229
Figura 59. Precio de carbono requerido por un proyecto de 10 años para alcanzar punto de equilibrio.	230
Figura 60. Punto de Equilibrio Minas Volcán – Mortiño con Tecnología GCES. .	232
Figura 61. Punto de Equilibrio Minas Volcán – Mortiño con Tecnología ANGUIL.	233
Figura 62. Punto de Equilibrio Minas Volcán – Mortiño con Tecnología GCES ..	233
Figura 63. Punto de Equilibrio Minas San Miguel - Canales - Diamante 7 con Tecnología GCES.	234
Figura 64. Punto de Equilibrio Minas San Miguel - Canales - Diamante 7 con Tecnología ANGUIL	234
Figura 65. Punto de Equilibrio Minas San Miguel - Canales - Diamante 7 con Tecnología ANGUIL y precio de bono de carbono a USD \$ 8.70.	235
Figura 66. Flujo de caja con mercado de Colombia en cotización de ANGUIL ...	236
Figura 67. Flujo de caja con mercado de Colombia en cotización de GCES	237
Figura 68. Emisiones Mundiales Estimadas de Metano a Partir de las Minas de Carbón en los Diez Principales Países de la GMI, 2010.*	241
Figura 69. Emisiones GEI totales por departamento	243

Figura 70. Comparación de los parámetros de ventilación de las minas de carbón con las especificaciones de funcionamiento de la tecnología VAM 267

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales fuentes de emisión de VAM.....	40
Tabla 2. Límites de Concentración de Metano Inflamable Aconsejados.....	41
Tabla 3. Liberación Anual por país de VAM (MMT CO₂e).....	42
Tabla 4. Comparación de cuatro tecnologías de mitigación del VAM.	51
Tabla 5. Comparación diferentes tecnologías de sistemas VAM	52
Tabla 6. Generación Energía Actual a Nivel Mundial.....	57
Tabla 7. Resumen de los proyectos mundiales de VAM en 2012.....	63
Tabla 8. Potencial del mercado mundial de proyectos VAM (valor menor a \$3.00/Ton de CO₂e).	65
Tabla 9. Oportunidades del mercado mundial para las tecnologías VAM.....	65
Tabla 10. Costos de proyectos VAM según algunas empresas en el mundo	69
Tabla 11. Leyes y políticas aprobadas en 2014.....	73
Tabla 12. Distribución de las minas.....	120
Tabla 13. Minas, producción y mantos de carbón.	120
Tabla 14. Descripción labores de desarrollo y preparación mina San Miguel.	123
Tabla 15. Medicion de gases y volumen de CH₄, Mina San Miguel	123
Tabla 16. Desarrollo, preparación y explotación de la mina La Ceci.....	126
Tabla 17. Medicion de gases y Volumen de CH₄ mina La Ceci.....	127
Tabla 18. Medición de gases y Volumen de CH ₄ mina La Ceci.....	129
Tabla 19. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina La Virgen.....	131
Tabla 20. Medición de gases y Volumen de Metano, mina La Virgen.....	131
Tabla 21. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina El Rubí Callejón.....	133
Tabla 22. Medicion de Gases y volumen de CH₄ mina Rubí Callejón.....	133
Tabla 23. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Futuro 2.....	135

Tabla 24. Características de ventilación y contenido de CH4 mina Futuro Dos.	135
Tabla 25. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Inversiones Siatoba Ltda.	137
Tabla 26. Medicion de gases y Volumen de CH4 mina Inversiones Siatoba.	137
Tabla 27.(Continuación) Medicion de gases y Volumen de CH4 mina Inversiones Siatoba.	138
Tabla 28. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Jabonera 1 y 2.	139
Tabla 29. Medicion de gases y volumen CH4 mina Jabonera 1 y 2.	140
Tabla 30. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Rinconcito.	143
Tabla 31. Medición de gases y volumen CH4 mina Rinconcito.	144
Tabla 32. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina El Curubo.	147
Tabla 33. Medición de gases y volumen de CH4 mina El Curubo.	147
Tabla 34. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Los Pinos.	149
Tabla 35. Características de ventilación y contenido de CH4 mina Los Pinos.	149
Tabla 36. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Tierra Alta.	151
Tabla 37. contenido de gases y volumen de CH4 mina Tierra Alta.	152
Tabla 38. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Esperanza 2 y 3.	153
Tabla 39. Medicion de gases y volumen de CH4 Minas Esperanza 2 y 3	154
Tabla 40. Mantos y producción de las minas, zonas centro – sur de Promincarg.	157
Tabla 41. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la minas El Volcán-El Mortiño.	158
Tabla 42. Características de ventilación y presencia de CH4 en la mina El Volcán-el Mortiño.	160

Tabla 43. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina La Mana.....	162
Tabla 44. Medicion de gases y volumen de CH4 mina La Mana.....	163
Tabla 45. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Canales.....	165
Tabla 46. Medicion de gases y volumen de de CH4 mina Canales.....	166
Tabla 47. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Bocatoma.....	168
Tabla 48. medicion de gases y volumen de CH4 mina Bocatoma.	169
Tabla 49. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Bocatoma.....	169
Tabla 50. Medición de gases y volumen de CH4 mina Piedro y Bolas	170
Tabla 51. Mantos de carbón, Sector Guacheta	172
Tabla 52. Producción de carbón Uniminas S.A y Promincarg S.A.S.....	174
Tabla 53. Volumen de CH4, área Uniminas -Promincarg.....	175
Tabla 54. Contenido de metano en las minas del área piloto.....	182
Tabla 55. Emisiones de metano en el área Piloto.....	185
Tabla 56. Matriz DOFA.....	189
Tabla 57.característica generales Minas San Miguel - Canales.....	197
Tabla 58. Característica generales minas Volcán Mortiño	198
Tabla 59. Comparación de las especificaciones de tecnología VAM.	208
Tabla 60. Minas seleccionadas, datos de carbón y VAM.....	209
Tabla 61. Componentes del sistema	213
Tabla 62. Especificaciones del equipo estándar.	213
Tabla 63. Ejemplo Estructura de costos fijos tangibles proyecto VAM para minas tipo San Miguel	221
Tabla 64. Información requerida por el modelo de flujo de caja de la EPA (Insumos de Costos).....	224
Tabla 65. Parámetro de flujo (de mina), gastos de capital (RT CAPEX) e indicadores económicos.	225
Tabla 66. Comparación costos ANGUIL - GCES.....	237

Tabla 67. Desarrollo actual de tecnologías para ventilación aire metano	247
Tabla 68. Ejemplo calidad carbón Guachetá	251
Tabla 69. Producción de carbón Uniminas S.A y Promincarg S.A.S.....	254
Tabla 70. Ejemplo de mina de San Miguel	255
Tabla 71. Modelo de aforo en las minas	259
Tabla 72. Ejemplo San Miguel.....	262
Tabla 73. Factor de emisión para las cuencas carboníferas Colombianas que tiene explotación subterránea de carbón.....	263
Tabla 74. Comparación tecnologías VAM.....	265
Tabla 75. Tecnologías de VAM disponibles en el mercado.	266
Tabla 76. Comparación de cuatro tecnologías de mitigación del VAM.	268
Tabla 77. Límites de Concentración de Metano Inflamable Aconsejados, FUENTE: UN-ECE, (2010).	269
Tabla 78. Ejemplo Estructura de costos fijos tangibles proyecto VAM para minas tipo San Miguel	271
Tabla 79. Ejemplo Estructura de costos fijos intangibles proyecto VAM para minas tipo San Miguel.....	272
Tabla 80. Ejemplo Estructura de otros costos proyecto VAM	272
Tabla 81. Información requerida por el modelo de flujo de caja de la EPA (Insumos de Costos).....	273

1. GLOSARIO

- **ABANDONED MINE METHANE (AMM):** Es el metano que se extrae en minas abandonadas para ser utilizado u oxidado.
- **AIRE DE ADMISIÓN.** Aire que aún no haya ventilado el último lugar de trabajo en cualquier división de cualquier sección de trabajo, o cualquier área trabajada, ya sea apilada o no.
- **AIRE DE RETORNO.** Aire que ha ventilado el último lugar de trabajo en cualquier división de cualquier sección de trabajo o cualquier área trabajada, ya sea apilada o no apilada. Si el aire se mezcla con el aire que ha ventilado el último lugar de trabajo en cualquier división de cualquier sección de trabajo o cualquier área trabajada, ya sea apilada o no, se considera aire de retorno.
- **ALIMENTACIÓN PUNTUAL.** El proceso de proporcionar aire de admisión adicional al circuito de aire de la correa desde otro circuito de aire de admisión a través de un regulador.
- **ÁREA TRABAJADA.** Un área donde se ha completado la extracción minera ya sea apilada o no, excluyendo las entradas de desarrollo, cursos de retorno de aire y cursos de admisión de aire.
- **CAÑÓN:** Obra minera subterránea que se desarrolla en el cuerpo mismo de la veta. En algunos lugares también se le denomina Cañón. También parte del tajo donde el picador arranca el carbón.
- **CARBÓN:** Una roca sedimentaria combustible formada de restos vegetales en varios estados de preservación y afectada por una serie de procesos, que involucran la compactación del material enterrado en cuencas inicialmente de poca profundidad.
- **CARBONIFICACIÓN O CARBONIZACIÓN:** Procesos que transforman los restos vegetales en carbón. Cuanto mayor sea esta transformación, mayor será el grado de carbonificación o rango del mismo.
- **CARTA DE CERTIFICACIÓN** se refiere al documento formal emitido por MSHA en el que se declara que un sistema de monitoreo de metano o subconjunto o componente del mismo:
 - Ha cumplido los requisitos de esta parte, y
 - Está certificado para su incorporación en o con equipos permitidos o aprobados que se utilicen en minas y túneles gaseosos.
- **CBM (COALBED METHANE) O GAS METANO EN DEPÓSITOS DE CARBÓN (GMDC o GMAC):** También llamado CBG (Coal bed Gas), se refiere a las siglas en inglés de gas metano asociado a mantos de carbón.
- **CENIZA:** El residuo inorgánico que permanece después de la combustión del carbón.
- **CHUMACERA:** Rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación.
- **CMM (COAL MINE MATHANE):** Metano de la mina de carbón. El gas capturado en una mina de carbón de trabajo por medio de técnicas de

drenaje subterránea del metano. El gas consiste en una mezcla del metano y otros hidrocarburos y vapor de agua. A menudo se diluye con el aire y los productos de oxidación asociados, debido a la fuga inevitable del aire en las ventosas o galerías de drenaje de gas, a través de las fracturas inducidas por el minado y también debido a las fugas de aire en las uniones imperfectas de sistemas de tuberías subterráneas. Cualquier gas capturado subterráneamente, ya sea drenado antes o después del minado y cualquier gas drenado de los pozos terraplén de superficie, está incluido en esta definición. El drenado de pre-minado CMM puede ser de gran pureza.

- **COMPONENTE DE APAGADO AUTOMÁTICO:** Componente de un sistema de monitoreo de metano, como un relé, interruptor o mecanismo de interrupción, que provocará que un circuito de control detenga el suministro de energía a una máquina, equipo o circuito de potencia cuando sea accionado por el detector de metano.
- **COMPONENTE:** Parte de un sistema de control de metano que es esencial para su funcionamiento como sistema certificado de control de metano.
- **CONTENIDO DE GAS:** Es el volumen de gas presente por cada peso de carbón, se expresa en pies³/ton o m³/ton y se obtiene de la sumatoria de gas desorbido, gas perdido y gas residual.
- **CORAZONES (CORES):** Núcleos de perforación utilizados para las pruebas de desorción.
- **CRUCERO:** Obra minera subterránea que se desarrolla para intersectar una veta, o veta que tiene un rumbo perpendicular a la dirección de las vetas principales paralelas http://www.otrosmundoschiapas.org/docs/escaramujo/escaramujo626_diccionario_minero.pdf. Crucero es similar a la galería, pero fuera de la veta y en ángulo con la dirección de la misma. Su objetivo general es proporcionar un acceso para el trabajo de otra veta adyacente
- **CURSO AÉREO.** Una entrada o un conjunto de entradas separadas de otras entradas por paradas, omitidos, otros dispositivos de control de ventilación, o por bloques sólidos de carbón o roca para que cualquier mezcla de corrientes de aire entre cada uno se limite a fugas.
- **DETECTOR DE METANO:** Un componente de un sistema de monitoreo de metano que funciona en una mina, túnel u otros trabajos subterráneos gaseosos para tomar muestras de la atmósfera en forma continua y responde a la presencia de metano.
- **DIAGRAMA UNIFILAR:** Representación gráfica integral y sencilla del sistema eléctrico, en la cual se indican las subestaciones, transformadores, tableros, circuitos alimentadores y derivados, así como la interconexión entre ellos.
- **DRENAJE DEL GAS:** Métodos para capturar el gas que ocurre naturalmente en los mantos de carbón para evitar que entre a los ductos de ventilación de la mina. El gas puede ser retirado de los mantos de carbón antes de la extracción utilizando técnicas de pre-drenaje y de los mantos de carbón removidas por el proceso de extracción, utilizando técnicas de post-drenaje.

A menudo se le refiere como drenaje del Metano, si el metano es el componente principal del gas que se busca capturar

- **EQUIPO Y CIRCUITOS INTRÍNSECAMENTE SEGUROS:** Equipos y circuitos que son incapaces de liberar suficiente energía eléctrica o térmica en condiciones normales o anormales para provocar la ignición de una mezcla inflamable de la composición más fácilmente inflamable.
- **ESTRUCTURA O ÁREA NO COMBUSTIBLE:** Estructura o área que continuará proporcionando protección contra la propagación de la llama durante al menos 1 hora cuando se someta a una prueba de fuego que incorpore una entrada de calor de tiempo/temperatura.
- **FALLA DE SEGURIDAD:** Significa que la circuitería de un sistema de control del metano se diseñará de manera que la avería eléctrica de un componente que, en opinión de MSHA, sea crítica, dé lugar al corte de energía del sistema de control del metano y de la máquina o el equipo del que forma parte.
- **FUNCIONAMIENTO NORMAL:** Significa que el desempeño de cada componente, así como de todo el conjunto del sistema de control del metano, se ajustan a las funciones para las que fue diseñado y para las que ha sido probado por MSHA.
- **GAS DE ORIGEN BIOGÉNICO:** Gas asociado al carbón de origen bacteriano.
- **GAS DE ORIGEN TERMOGÉNICO:** Gas asociado al carbón producto de la carbonificación o aumento de rango del carbón. Está asociado con el aumento de la presión y temperatura del carbón.
- **GAS DESORBIDO:** Es el contenido de gas medido en la prueba de desorción en un sistema canister, durante un tiempo determinado que depende de la cantidad de gas liberado de la muestra de carbón.
- **GAS IN PLACE (GI O GIP):** Cálculo del contenido volumétrico del gas en el yacimiento sin consideraciones económicas.
- **GAS METANO:** Es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH₄. Constituye hasta el 97 % del gas natural. En las minas de carbón se le llama grisú y es muy peligroso, ya que es fácilmente inflamable y explosivo.
- **GAS PERDIDO:** Corresponde al gas escapado del carbón entre el tiempo en que el manto de carbón es penetrado por la broca y el tiempo en que la muestra es introducida y sellada herméticamente en el canister.
- **GAS RESIDUAL:** Es el gas que permanece absorbido en la matriz del carbón después de que se ha completado la prueba de desorción. Su contenido se determina pulverizando el carbón.
- **GIGA:** Término utilizado para reservas y equivale a 10⁹ m³, pies³, etc. Muy utilizado en cuantificación de reservas
- **GOB GAS (GOAF O GM):** Gas drenado de los frentes explotados o derrumbados.
- **GOB HOLE:** Son sondeos que se perforan sobre las capas de carbón previo a las labores mineras para desgasificar los frentes mineros derrumbados (caídos).

- **INCOMBUSTIBLE.** Incapaz de ser quemado.
- **INTRÍNSECAMENTE SEGURO.** Incapaz de liberar suficiente energía eléctrica o térmica en condiciones normales o anormales para provocar la ignición de una mezcla inflamable de metano o gas natural y aire de la composición más fácilmente inflamable.
- **ISOTERMAS:** Ensayos sobre muestras de carbón a temperatura constante y presión variable, a fin de determinar la capacidad de absorción del carbón con el cambio de presión. Sirven para determinar la saturación de gas en la muestra.
- **MATERIA MINERAL:** Los componentes inorgánicos del carbón.
- **MATERIAL NO COMBUSTIBLE.** Describe un material que al utilizarlo para construir un control de ventilación, resulta en sí mismo como un control adicional que continuará cumpliendo con su función prevista durante 1 hora adicional al someterse a una prueba de fuego que incorpora una entrada de calor.
- **MEZCLA INFLAMABLE** se entiende como una mezcla de un gas, como el metano, el gas natural o un gas hidrocarburo similar con aire normal, que puede inflamarse.
- **MSHA** es el Departamento de Trabajo de los Estados Unidos, Administración de Seguridad y Salud en las Minas (United States Department of Labor, Mine Safety and Health Administration).
- **NIVEL AMBIENTE DE MONÓXIDO DE CARBONO.** La concentración media en partes por millón (ppm) de monóxido de carbono detectada en un curso de aire que contiene sensores de monóxido de carbono. Esta concentración promedio es representativa de la composición de la atmósfera de la mina durante un período de actividad minera en condiciones de no incendio. Se pueden establecer niveles ambientales separados para diferentes áreas de la mina.
- **OPERADOR AMS.** La (s) persona (s), designada (s) por el operador de la mina, quien se encuentra ubicada en la superficie de la mina y monitorea las señales de mal funcionamiento, alerta y alarma del AMS y notifica al personal apropiado de estas señales.
- **OXIDANTES REGENERATIVOS CATALÍTICOS (RCO),** también conocido por el término Reactor Reverso de Flujo Catalítico (CFRR)
- **PERSONAL APROPIADO.** Persona o personas designadas por el operador para realizar tareas específicas en respuesta a las señales de AMS.
- **POLVO RESPIRABLE** - partículas microscópicas de polvo que pueden entrar y dañar el pulmón humano.
- **POR MINA O TÚNEL GASEOSO** se entiende una mina, túnel u otro trabajo subterráneo en el que se haya encendido una mezcla inflamable, o se haya encontrado con una lámpara de seguridad de llama permisible, o se haya determinado mediante análisis de aire que contiene un 0,25 por ciento o más (volumen) de metano en cualquier trabajo abierto cuando se prueba en un punto no menor de 12 pulgadas del techo, frente o costado.

- **POSTDRENAJE** (drenaje post-mina) - extracción de gas liberado como consecuencia del minado.
- **PREDRENAJE** (drenaje pre-mina) - extracción de gas con antelación al minado del carbón.
- **PRUEBA DE EXPLOSIONES:** Componente o grupo de componentes (subconjunto) construido y protegido por una envolvente con o sin supresor (s) de llama que, si se enciende una mezcla inflamable de gas dentro de la envolvente, soportará la presión resultante sin dañar la envolvente y/o supresor de llamas. Además, la envolvente y/o el (los) supresores de llama (s) deberá (n) impedir la descarga de la llama desde el interior de la envolvente o del supresor de llamas, o la ignición de cualquier mezcla inflamable que rodee la envolvente y/o el supresor de llamas.
- **PUENTE:** Son pequeñas zonas mineralizadas que se dejan al techo del nivel inferior y al piso del nivel superior para garantizar la estabilidad de dichos niveles y para soportar la carga del mineral o el relleno.
- **RANGO DEL CARBÓN:** Clasificación del carbón que depende del grado de carbonización alcanzado, desde el momento en que se depositaron los fragmentos vegetales hasta el grado de maduración del mismo. La clasificación más conocida es la de ASTM.
- **REACTOR REVERSO DE FLUJO CATALÍTICO (CFRR)**, también conocido por el término Oxidantes Regenerativos Catalíticos (RCO).
- **REFLECTANCIA DE LA VITRINITA (RO ORM):** Medida de la reflectividad de luz incidente sobre la superficie pulida del maceral vitrinita. Es un indicador del rango del carbón.
- **REGENERATIVE THERMAL OXIDIZER – RTO:** Oxidante Térmico Regenerativo, también conocido Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)
- **RUMBO DEL CINTURÓN DE AIRE.** La entrada en la cual se encuentra una correa y cualquier entrada (s) adyacente (s) no separado (s) de la entrada de la correa por controles permanentes de ventilación, incluyendo cualquier entrada en serie con la entrada de la correa, terminando en un regulador de retorno, un punto de carga de sección o la superficie.
- **SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (AMS).** Una red compuesta por hardware y software capaz de: medición de parámetros atmosféricos; transmisión de las mediciones a una ubicación de superficie designada; suministro de señales de alerta y alarma; procesamiento y catalogación de datos atmosféricos; y, suministro de informes. A los efectos de este apartado se considerarán sistemas de detección precoz de incendios que utilicen una tecnología más reciente que ofrezca una protección igual o superior, según determine la Secretaría, como sistemas de vigilancia atmosférica.
- **SISTEMA DE MONITOREO DEL METANO:** Un conjunto completo de uno o más detectores de metano y de todos los demás componentes necesarios para medir y señalar la presencia de metano en el interior de la atmósfera

de una mina, túnel u otros trabajos subterráneos, e incluirá un componente de desconexión de energía.

- SISTEMA LONGWALL: Sistema de explotación de carbón por tajo largo
- SOLICITANTE hace referencia a un individuo, sociedad, compañía, corporación, asociación u otra organización que diseña, fabrica o ensambla y que busca certificación o pruebas preliminares de un sistema o componente de monitoreo del metano.
- SUPRESOR DE LLAMAS: dispositivo construido de tal manera que impida la propagación de llamas o explosiones desde el interior de la unidad de la que forma parte de una mezcla inflamable circundante.
- TERA: Término utilizado para reservas y equivale a 10^{12} m³, pies³, ton, etc. Muy utilizado en cuantificación de reservas.
- THERMAL FLOW REVERSE REACTOR (TFRR): tecnología de reactor inverso de flujo termal, también conocido Oxidante Térmico Regenerativo – (RTO).
- VENTILATION AIR METHANE (VAM): Metano del aire de ventilación, Metano capturado y/o utilizado en el sistema de ventilación - metano emitido por los mantos de carbón que entra al aire de ventilación y está expulsado desde el conducto de ventilación a baja concentración, por lo general en el rango de 0,1% a 1,0% por volumen.

2. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que por su ubicación geográfica es bastante vulnerable a los efectos que genera el cambio climático según estudios realizados por Invermar y el IDEAM las zonas costeras e insulares colombianas son altamente vulnerables a los impactos del cambio climático por amenaza de inundaciones, para el 2030, se estima que se vea afectado el 2% del total de la población y un valor de capital del orden del 2,2% del PIB además afectación de un 50% del territorio nacional por la modificación en el funcionamiento del régimen hidrológico, con consecuencias sobre las actividades económicas, el abastecimiento de la población y los niveles de amenaza natural.

El sur de la región Andina y los departamentos de La Guajira y Nariño disminuiría el promedio de lluvias anuales, mientras que las regiones de la Amazonía, Orinoquía, norte de las regiones Andina y Pacífica y el resto de la región Caribe registrarían un aumento. Se verá una disminución en las coberturas de los glaciares con efectos negativos sobre la disponibilidad de agua para aquellas poblaciones que dependen de estos sistemas y otros efectos que se producirían en los sectores agrícolas.¹

Historialmente Colombia se destaca por su liderazgo en las negociaciones de cambio climático y ha venido realizando esfuerzos para plantear mecanismos y estrategias que contribuyan para cumplir la meta mundial de evitar el aumento de temperatura promedio global por encima de los 2°C, una de las estrategias que Colombia planteo tiene el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del país 20% con relación a las emisiones proyectadas a 2030.

Dentro de la política nacional de cambio climático se plantearon líneas estratégicas territoriales, sectoriales e instrumentales, dentro de las líneas de desarrollo Minero-Energético bajo en carbono y resiliente al clima se proponen varias líneas de acción dentro de las cuales destacamos las siguientes²:

- a. Integrar en las políticas, instrumentos y regulación sobre expansión de la oferta energética eléctrica del país, los objetivos de adaptación ante los eventos climáticos, así como medidas de desarrollo bajo en carbono, minimizando aquellas que implican sacrificios entre objetivos.

¹ <http://www.minambiente.gov.co/index.php/que-es-cambio-climatico/impacto-del-cambio-climatico-en-colombia>

² <http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-2/politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc#politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc>

- b. Evaluar la utilización de biocombustibles que aseguren una baja huella de carbono a lo largo de su ciclo de vida y prevengan potenciales impactos a los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y a la biodiversidad.
- c. Promover mecanismos eficientes, incluidos instrumentos económicos, para la gestión de la demanda baja en carbono en los diferentes sectores.
- d. Incentivar la adecuada diversificación de la canasta energética, mediante instrumentos y tecnologías que reconozcan beneficios sobre la mitigación de GEI, así como co-beneficios en la calidad del aire, resiliencia climática, acceso y seguridad energética, y, adicionalmente, generar estrategias de coordinación interinstitucional del Gobierno nacional que permitan la promoción y el desarrollo de proyectos relacionados con fuentes no convencionales de energía renovable.
- e. Fomentar el aprovechamiento de fuentes de energía renovables complementarias a las no renovables con el fin de asegurar el suministro confiable de energía eléctrica en zonas no interconectadas (ZNI), teniendo en consideración los principios de eficiencia y confiabilidad del sistema.
- f. Propender y promover la adecuada gestión de las emisiones fugitivas que se presentan durante las actividades en los sectores de minas y de hidrocarburos.

El gas metano es un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el dióxido de carbono. Las emisiones mundiales de metano de las minas de carbón totalizaron un equivalente de casi 600 millones de toneladas métricas de CO₂ (MtCO₂e) en el 2010 y se proyecta que las emisiones antropogénicas mundiales de metano aumenten cerca de un 9 por ciento por encima de los niveles previstos para el 2020 hasta alcanzar 10,220 MMTCO₂ E para 2030³.

El gas metano de los ductos de ventilación de las minas subterráneas de carbón puede ser quemado o aprovechado para autogeneración mediante máquinas, turbinas y otras tecnologías con lo cual se puede obtener múltiples beneficios económicos, ambientales y de seguridad para los mineros.

Este documento pretende informar al público colombiano interesado en aprovechar o quemar el gas metano de los ductos de ventilación de las minas subterráneas de carbón, citando además los requerimientos técnicos, financieros y los riesgos asociados a la implementación de un proyecto VAM.

³ https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_spa.pdf

3. ENTREGABLE 1: METODOLOGÍA DETALLADA

Este primer informe de avance, que corresponde al Entregable I, contiene el enfoque, y la metodología a implementar en el desarrollo de las actividades dentro de las cuales se encuentran:

- Trabajo de campo
- Recopilación de información secundaria.
- Procedimientos para la toma de información.
- Características técnicas que emplear.

Así como el cronograma de actividades a ejecutar, lo cual será la ruta para el logro de los objetivos.

3.1. ENFOQUE DEL ESTUDIO

Las explotaciones subterráneas de carbón son una fuente posible de producción de gas Metano, gas que es calificado como de Efecto Invernadero y que a la vez la presencia de este tipo de gas genera problemas de seguridad donde se puede producir sucesos como explosiones, presencia de atmosferas viciadas generando pérdidas materiales y de vidas humanas.

Para la resolución de estos problemas la legislación colombiana prevé lo siguiente:

- Dentro de las medidas de alto impacto para Colombia en materia minera que vienen siendo adoptadas por el gobierno nacional, se encuentra la ley 1753 de 2015 por medio del cual se expide el plan de desarrollo 2014-2018, en el artículo 170 “Formulación de una política de crecimiento verde a largo plazo, todos los ministerios y específicamente el ministerio de minas y energía formularan e implementaran planes sectoriales de adaptación al cambio climático y planes de acción sectorial de mitigación de la estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono, los cuales contendrán metas sectoriales cuantitativas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a corto (año 2020) y mediano plazo (años 2025 o 2030).
- “Para garantizar la seguridad en las explotaciones mineras subterráneas de carbón, el Ministerio de Minas y Energía emitió el decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015 que establece en especial en su artículo 59 sobre la extracción del gas Metano, lo siguiente “El titular minero que compruebe que en el proyecto minero subterráneo de carbón que desarrolla en el área del título, se encuentren concentraciones altas de metano y considere que es viable su drenaje para cualquier uso o eliminación del mismo, deberán incluir en su PTO o PTI las labores propuestas para su extracción y presentarlas a la autoridad minera para su evaluación y aprobación, ajustándose estas labores a las mejores prácticas internacionalmente aceptadas”.

De ahí la importancia y responsabilidad de adelantar de manera eficiente el objetivo general del proyecto, como es **“Construir un modelo para Colombia de aprovechamiento u oxidación de gas metano de los ductos de ventilación (VAM) de las minas subterráneas de carbón”**.

Luego de analizar el objetivo general y los específicos, se determinó que el enfoque propuesto es mixto, es decir que tiene elementos cualitativos y cuantitativos, tiene un mayor porcentaje de elementos cualitativos en cuanto tiene que identificar las características técnicas, tecnológicas, de costos de los proyectos exitosos relacionados con la captura, aprovechamiento y oxidación del Gas Metano de las minas (en los países) donde se hace el aprovechamiento.

De igual manera debe describir y evaluar los sistemas de ventilación y de los principales elementos técnicos y de seguridad minera de las minas ubicadas en el área tipo establecida mediante una consultoría contratada por la UPME en 2016, así como identificar las minas (del área tipo) en las que por características técnicas permita proponer un proyecto de aprovechamiento u oxidación de Gas Metano.

También el estudio debe proponer un proyecto piloto que incluya la metodología de aprovechamiento u oxidación de Gas Metano, que incluya los diseños de los ajustes requeridos en los sistemas de ventilación, que incluyan las formas de avance, preparación y de los equipos requeridos para la concentración, acumulación, aprovechamiento del gas metano entre otros. Este documento también deberá contener la guía de aprovechamiento para autogeneración de gas metano de los ductos de ventilación en minas subterráneas o de quema, que contemple aspectos técnicos, ambientales y jurídicos.

De acuerdo con lo anterior la consultoría reunirá y analizará información secundaria y de campo mediante formatos de captura (de información) tanto internacional como nacional en especial la producida por las instituciones del estado vinculadas con el sector minero energético.

La Figura 1 presenta el flujo grama de las actividades principales o ruta del estudio.

1.1. OBJETIVOS Y DESARROLLO DE ACTIVIDADES

A continuación se detallan las actividades principales para el desarrollo del estudio.

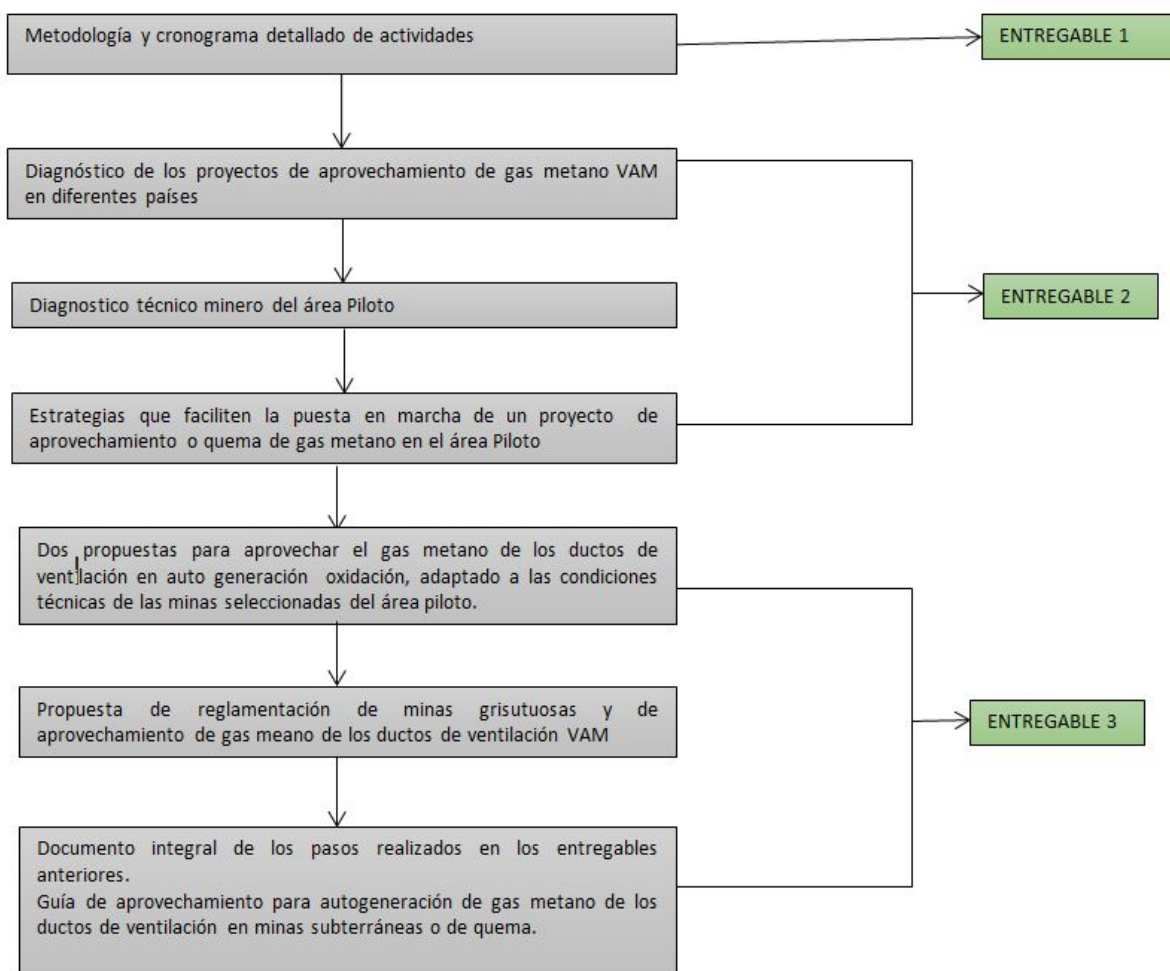
3.1.1. Objetivo 1.

Realizar mediante la revisión de información secundaria a nivel internacional un diagnóstico de los proyectos de aprovechamiento de gas metano de los ductos de ventilación (VAM) que permita conocer las diferentes técnicas aplicadas para su aprovechamiento u oxidación, las dimensiones, costo de inversión y operación y las características técnicas de las minas donde se realizan este tipo de proyectos.

Este diagnóstico se realizará mediante la consulta de información bibliográfica nacional y en especial internacional de proyectos VAM exitosos. Se revisará la información disponible en documentos, informes y reportes existentes en diferentes

entidades del sector minero, en asociaciones o agremiaciones y en universidades, de igual manera se consultará información con las empresas e instituciones que hayan trabajado el tema de aprovechamiento de gas metano para usos industriales o eliminación u oxidación del mismo.

Figura 1. Flujoograma de las actividades principales o ruta del estudio



Fuente. Consultor.

Las fuentes de información principales son las siguientes:

- Motores de búsqueda en internet
- INFORMACION NACIONAL
 - ANH
 - ANM
 - Servicio Geológico Colombiano
 - Unidad de Planeación Minero-Energética
 - Ministerio de Minas y Energía -MME

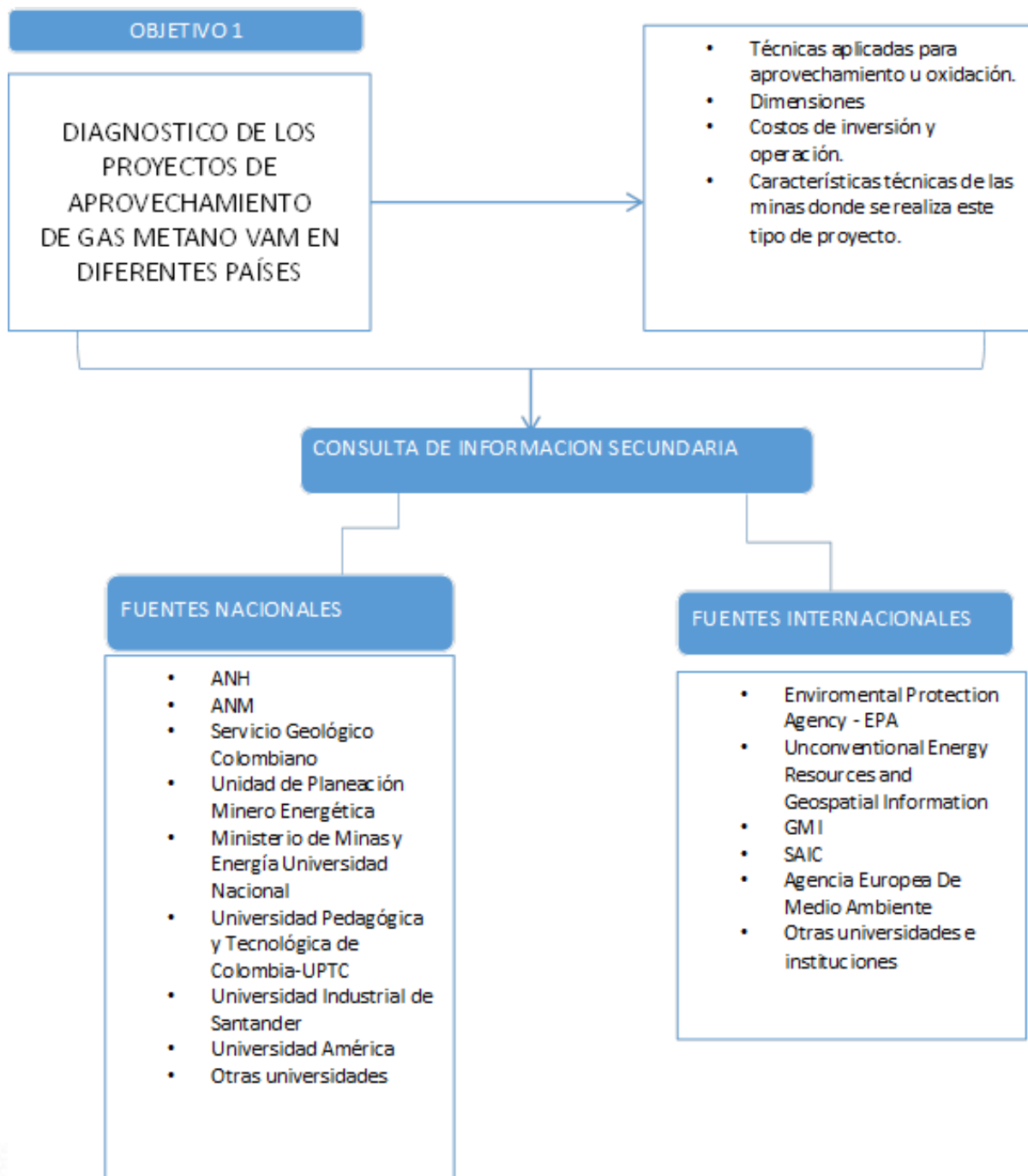
- Universidad Nacional
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC
- Universidad Industrial de Santander
- Universidad América
- Otras universidades
- INFORMACION INTERNACIONAL
 - Environmental Protection Agency - EPA
 - Unconventional Energy Resources and Geospatial Information
 - The Global Methane Initiative (GMI)
 - Agencia Europea De Medio Ambiente

Actividades.

- Revisión, compilación y análisis bibliográfico sobre el tema y sobre proyectos exitosos de aprovechamiento u oxidación de gas metano.
- Búsquedas sistemáticas en internet y bases de datos de información
- Acceso a revistas internaciones
- Listado de las diferentes experiencias internaciones, teniendo en cuenta los ítems, técnicas, dimensiones, costos

Elaboración y presentación del diagnóstico

Figura 2. Objetivo 1. Elaboración del contratista.



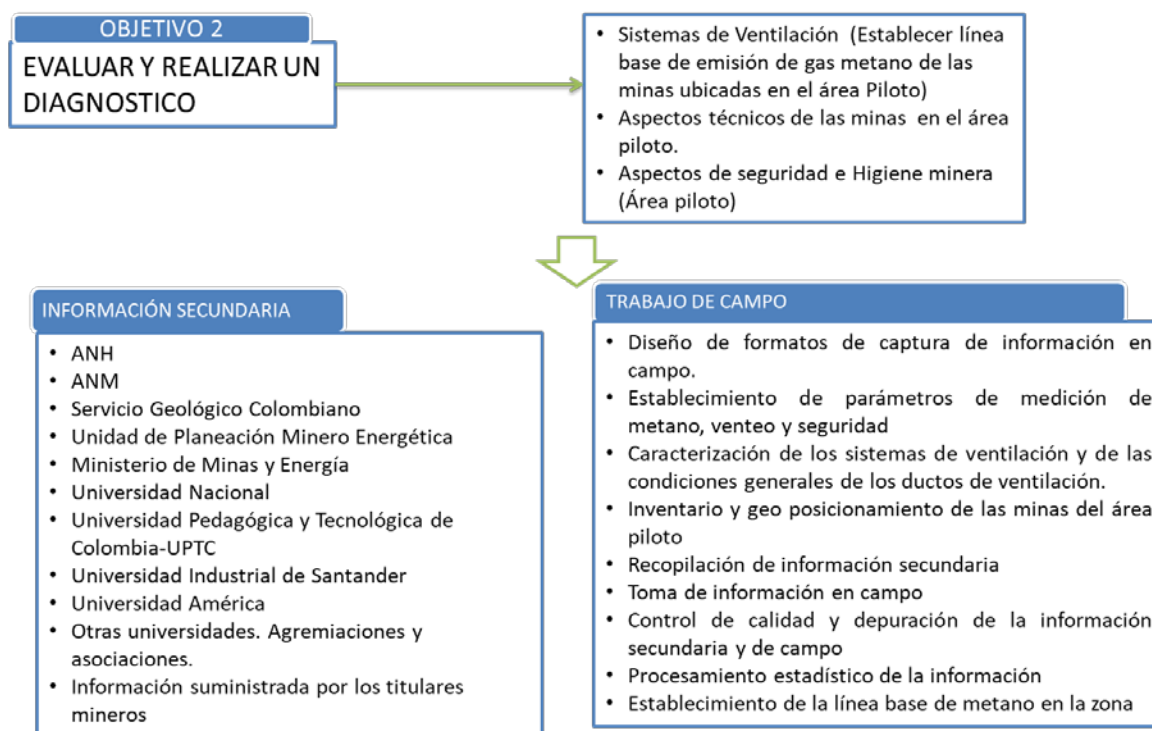
Fuente. Consultor.

3.1.2. Objetivo 2

Evaluar y realizar un diagnóstico, mediante información secundaria y trabajo de campo de los sistemas de ventilación (haciendo especial énfasis en lo

relacionado con el gas metano, estableciendo una línea base de emisiones históricas de gas metano como mínimo de los años 2014, 2015 y 2016 de las minas ubicadas en el área piloto, estas emisiones debe estar relacionadas con la producción), los principales aspectos técnicos y de seguridad minera de las minas ubicadas en el área piloto establecida en el estudio realizado por la UPME en el 2016 “Realizar un Estudio que Defina Estrategias de Aprovechamiento de Gas Metano Asociado a los Mantos de Carbón en Explotaciones Bajo Tierra”.

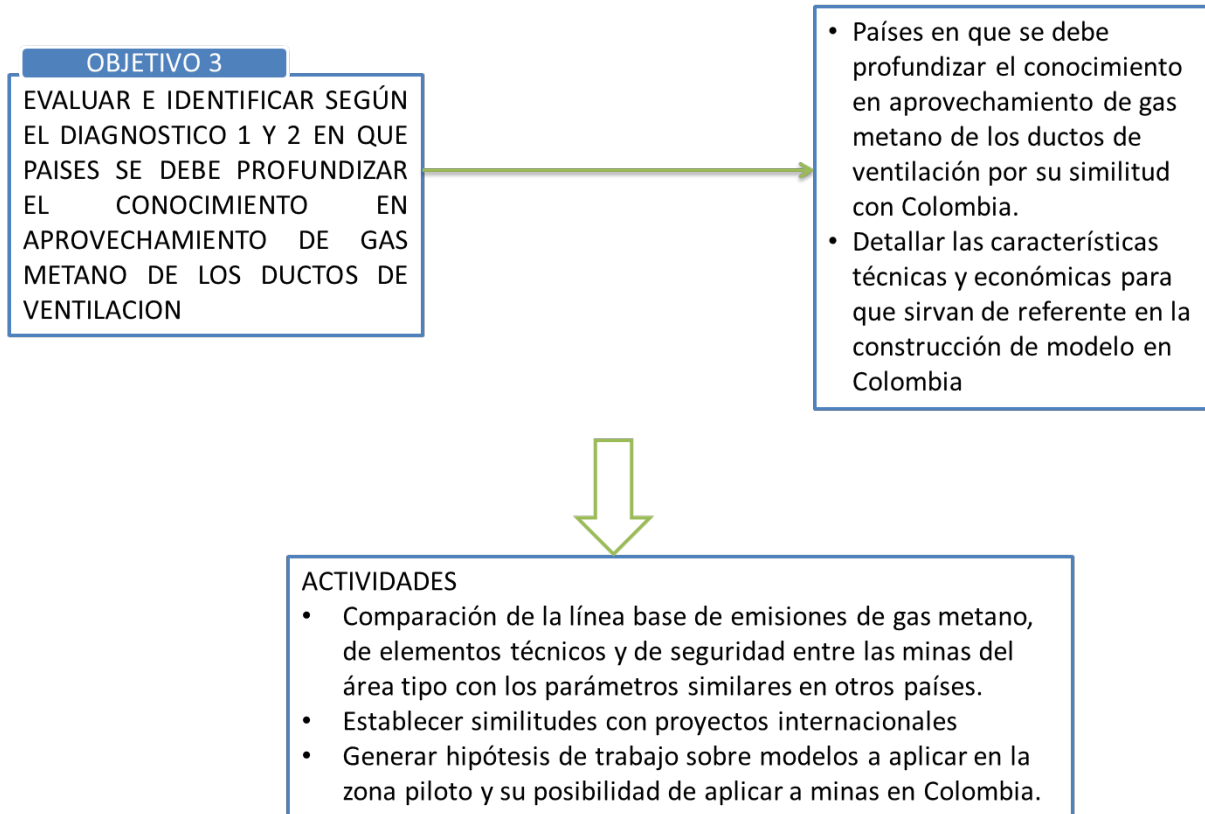
Figura 3. Objetivo 2. Fuente. Elaboración del contratista



Fuente. Consultor.

De acuerdo con las recomendaciones realizadas en el estudio de 2016 mencionado, en este objetivo, las áreas pilotos a escoger estarían localizadas en los contratos de concesión 2505 y 867T pertenecientes a UNIMINAS SA y PROMINGCAR SAS respectivamente.

Figura 4. Objetivo 3. Fuente. Elaboración del contratista



Fuente. Consultor

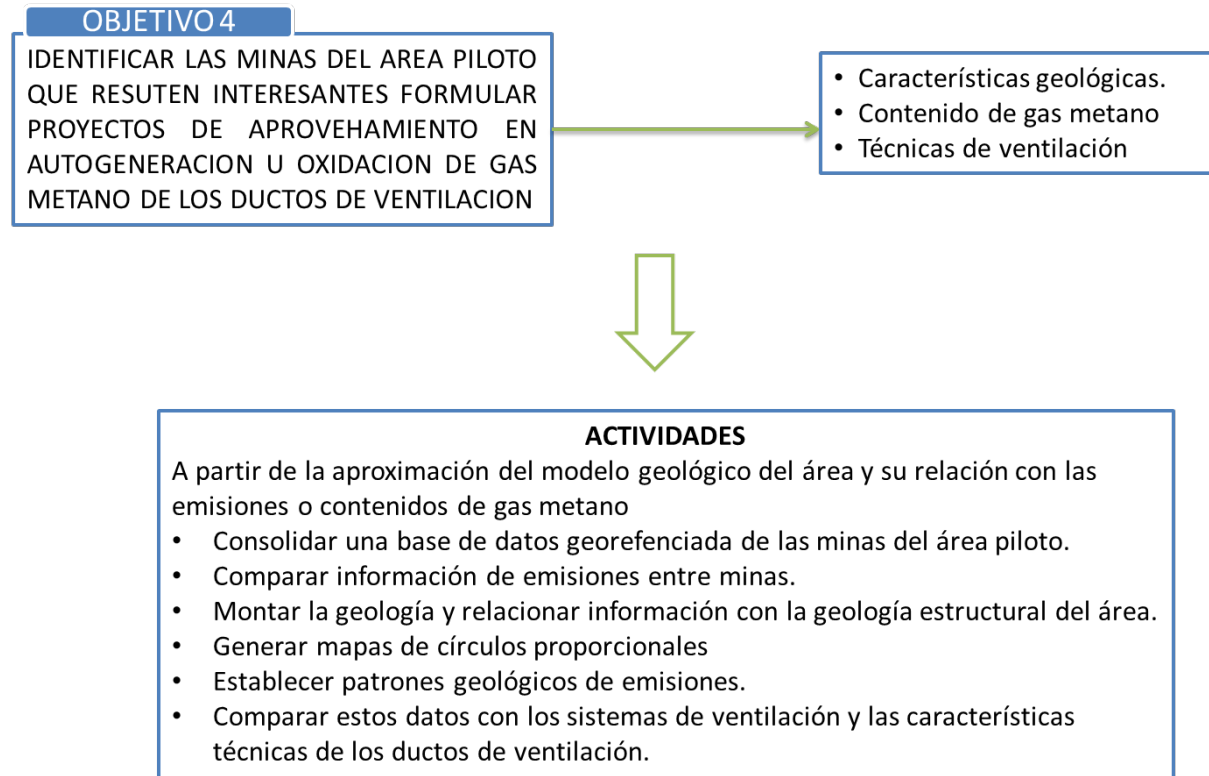
Se realizará un cruce de información técnica, operacional y de costos obtenida de los diagnósticos (internacional y nacional) donde se determinará similitudes buscando proyectos referentes para Colombia en la construcción de un modelo de aprovechamiento de gas metano de los ductos de ventilación.

3.1.3. Objetivo 4.

Identificar las minas del área piloto que, por sus características geológicas, de composición, de posición lito-estratigráfica, contenido de gas metano y técnicas (en especial del circuito de ventilación) resulten interesantes formular proyectos de aprovechamiento en autogeneración u oxidación de gas metano asociado a carbón GMAC de los ductos de ventilación.

A partir de la toma de información secundaria y de campo recolectada se realizará una caracterización geológica y de contenido de gas metano, esta información se organizara y se comparara con los datos técnicos (enfocado a sistemas de ventilación) recolectados en campo para identificar y formular proyectos de aprovechamiento en autogeneración u oxidación de gas metano en los ductos de ventilación (VAM).

Figura 5. Objetivo 4. Fuente. Elaboración del contratista



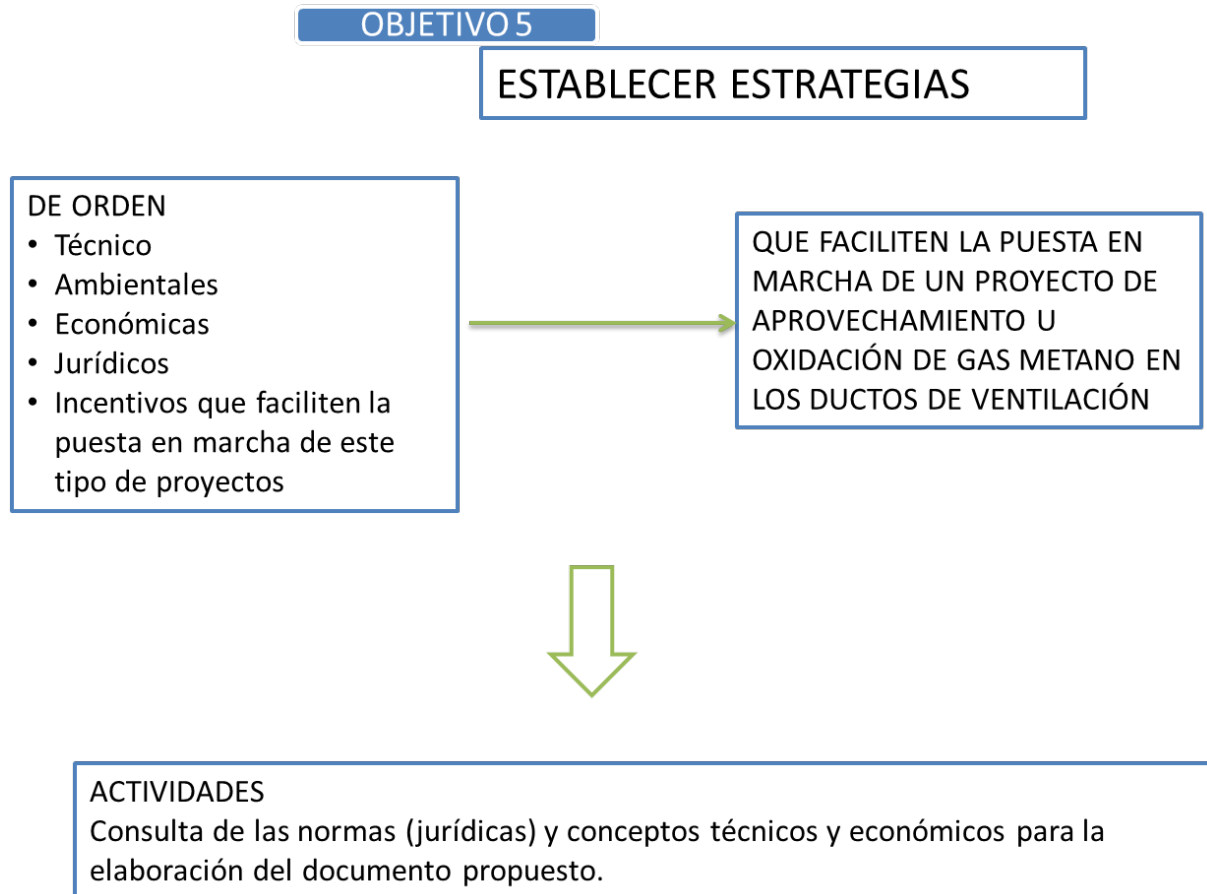
Fuente. Consultor

3.1.4. Objetivo 5.

Establecer diferentes estrategias de orden técnico, ambiental, económico y jurídico que faciliten la puesta en marcha de un proyecto de aprovechamiento u oxidación de gas metano de los ductos de ventilación en el área piloto, incluyendo conceptos jurídicos e incentivos que faciliten la puesta en marcha del mismo.

A partir de la información recolectada en los numerales anteriores y de la legislación sobre el tema, se establecerán líneas estratégicas de acción justificables de orden técnico, ambiental, económico, jurídico y de incentivos que faciliten la puesta en marcha de un proyecto de aprovechamiento u oxidación de gas metano de los ductos de ventilación. (En el área piloto).

Figura 6. Objetivo 5. Fuente. Elaboración del contratista.



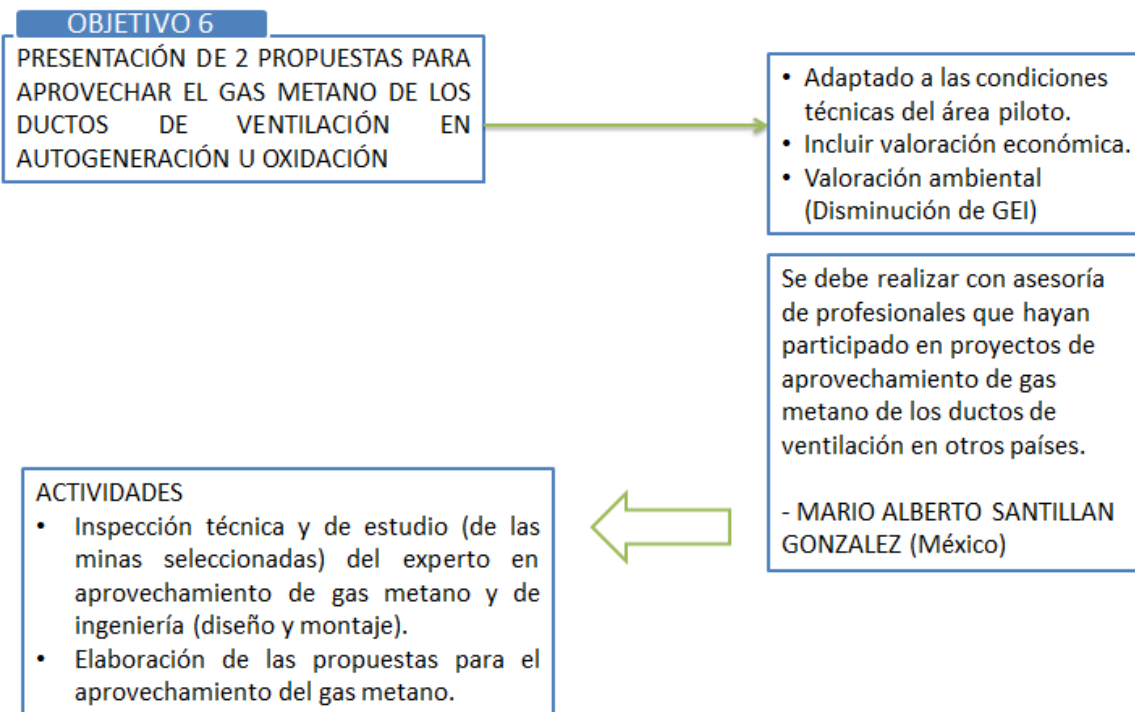
Fuente. Consultor

3.1.5. Objetivo 6.

Presentar como mínimo dos propuestas para aprovechar el gas metano de los ductos de ventilación en autogeneración u oxidación, adaptado a las condiciones técnicas de las minas seleccionadas del área piloto.

Las propuestas se desarrollarán con la asesoría del ingeniero Mario Santillán experto en proyectos VAM, se harán en las minas del área piloto seleccionadas de acuerdo con sus características técnicas.

Figura 7. Objetivo 6. Fuente. Elaboración del contratista.

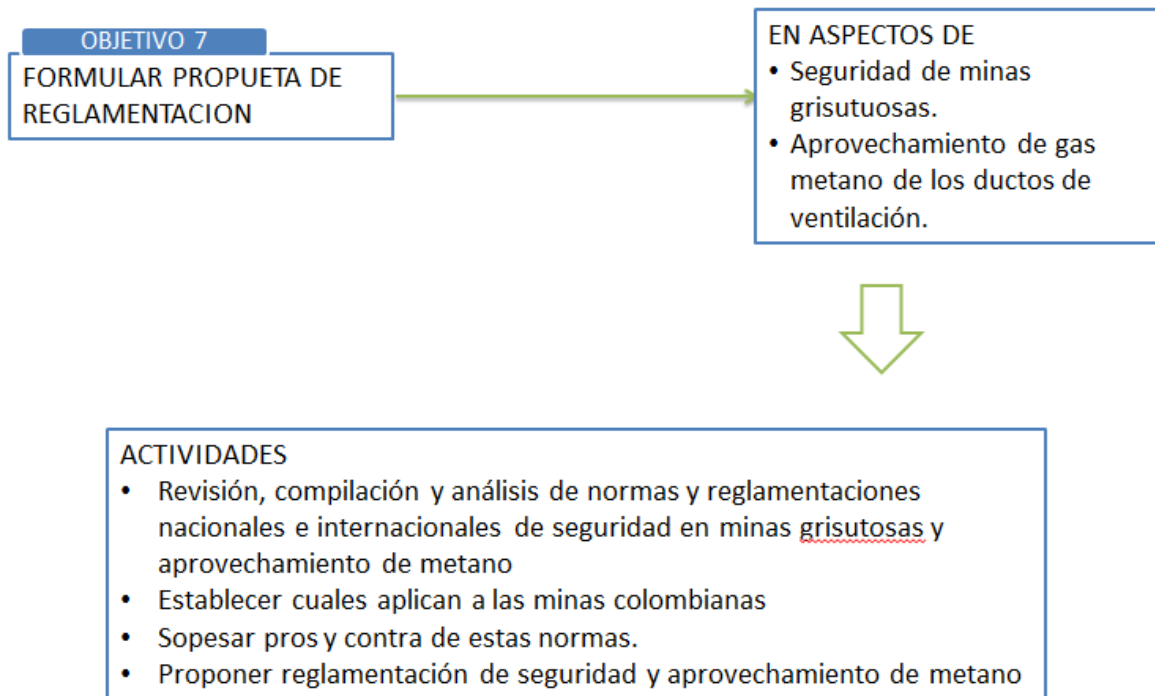


Fuente. Consultor

3.1.6. Objetivo 7.

Formular propuesta de reglamentación en aspectos de seguridad de minas grisutuosas y de aprovechamiento de gas metano de los ductos de ventilación.

Figura 8. Objetivo 7. Fuente. Elaboración del contratista.



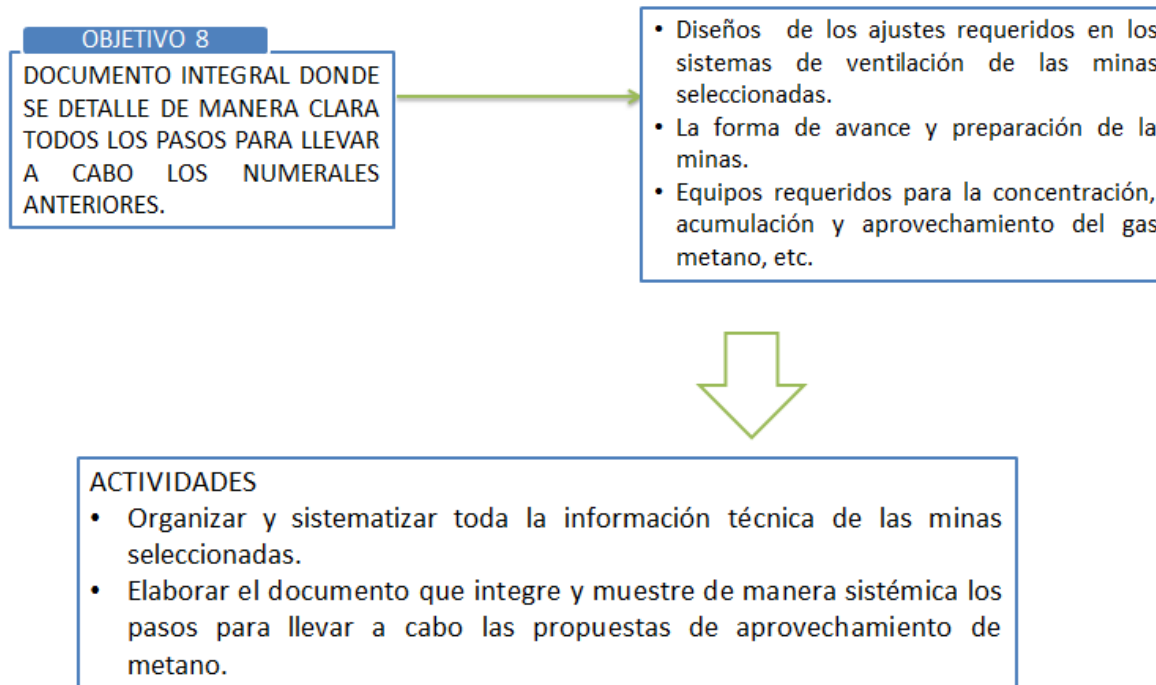
Fuente. Consultor

Para la elaboración de esta propuesta se deben tener como referente por supuesto el ordenamiento jurídico colombiano y las normas establecidas en los países donde el metano producido en las minas de carbón es aprovechado u oxidado, en especial las que tienen que ver con las normas de seguridad en explotaciones mineras subterráneas de carbón.

3.1.7. Objetivo 8.

Elaborar un documento que integre de forma clara todos los pasos que se deben realizar para llevar a cabo los numerales anteriores (diseños detallados de los ajustes requeridos en los sistemas de ventilación de las minas seleccionadas, de la forma de avance y preparación de la mina, de los equipos requeridos para la concentración, acumulación, aprovechamiento del gas metano entre otros).

Figura 9. Objetivo 8. Fuente. Elaboración del contratista.



Fuente. Consultor

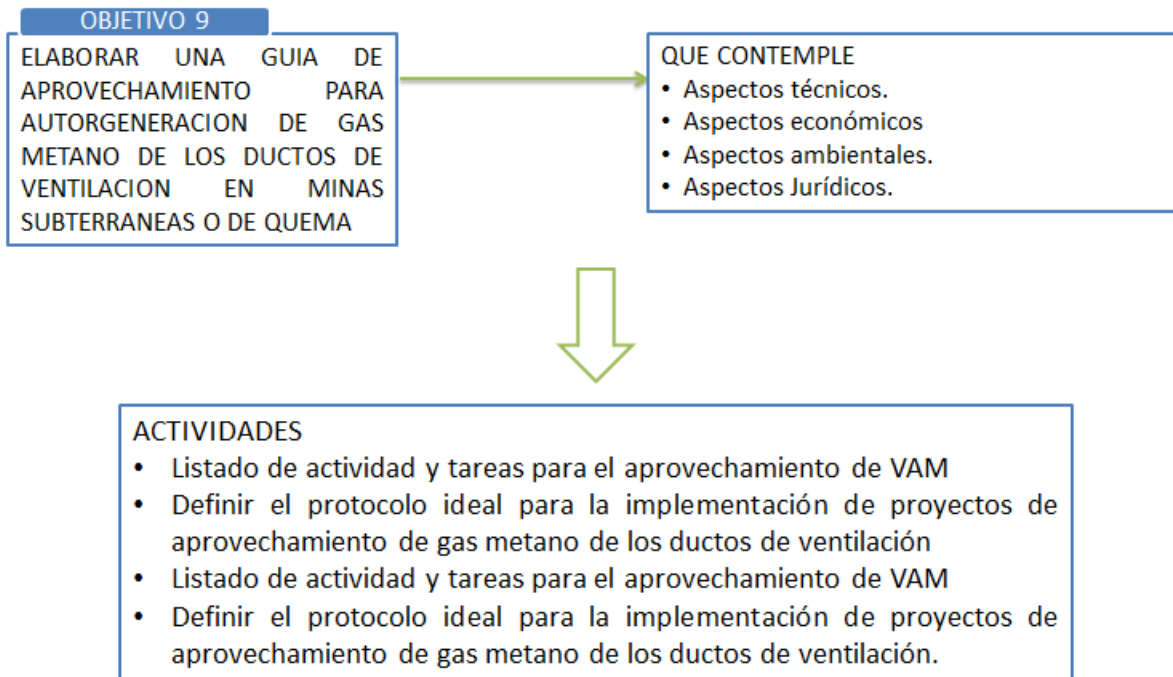
Este documento se elaborará con base en lo realizado para el logro de los demás objetivos y en la elaboración de los entregables.

3.1.8. Objetivo 9.

Elaborar una guía de aprovechamiento para autogeneración de gas metano de los ductos de ventilación en minas subterráneas o de quema, que contemple aspectos técnicos, económicos, ambientales y jurídicos.

Se hará de acuerdo con la experiencia internacional y nacional y las propuestas para el área piloto, debe contener los pasos necesarios para su puesta en marcha, incluido el tema económico.

Figura 10. Objetivo 9. Fuente. Elaboración del contratista.



Fuente. Consultor

3.2. PROCEDIMIENTO - ELEMENTOS DEL DIAGNOSTICO DE TECNICO

Se revisarán los estudios y proyecciones de ventilación presentadas por cada empresa y se harán visitas de verificación de metano en las minas seleccionadas.

Esta selección se hará de acuerdo con las condiciones técnicas de las minas y de acuerdo con los requerimientos para la implementación de un proyecto VAM, de la manera como haya sido determinado en diagnóstico de proyectos VAM exitosos.

- Se realizará un inventario de las unidades mineras en cada área.
- Se determinarán las minas donde se presentan mayores concentraciones de metano (según los reportes y estadísticas)
- Se seleccionarán las minas (una por cada área) para la elaboración de la propuesta (ENTREGABLE 3:) para el aprovechamiento en autogeneración u oxidación de gas metano asociado a carbón (GMAC).

Los siguientes son los parámetros para tener en cuenta:

1. ANALISIS DE LA NORMA.

Para el caso de nuestro país la norma aplicar es el decreto 1886 de 2015 título II (VENTILACION), el formato establecido se diseñó de acuerdo a los criterios relacionados en decreto 1886/2015.

2. RECOPIACION DE INFORMACION EN LA MINAS

Se analizará y se evaluará la información existente en cada mina, los reportes y estadísticas que cada empresa tiene, para tal fin se diseñó un formato de captura de información donde se evalúan los siguientes ítems (anexo 1):

I. ASPECTOS GEOLOGICOS

II. ASPECTOS TECNICOS

- Labores de desarrollo
- Labres de preparación
- Método de explotación
- Tipo de arranque
- Uso de explosivos (tipo de explosivo, frecuencia de voladuras)
- Sistemas de transporte
- Maquinaria y equipos
- Sostenimiento.

III. COMPONENTE AMBIENTAL

En esta sección se realizará una descripción cualitativa de las emisiones emitidas a la atmósfera.

IV. SEGURIDAD MINERA

En este ítem se tomará información acerca de los aspectos más importantes para el proyecto sobre seguridad minera, se presentan los siguientes aspectos para evaluar:

- **CAPACITACION:** se evalúa si el personal minero cuenta con capacitaciones sobre seguridad e higiene minera (manejo de explosivos, gases en minería, etc.)
- **RED ELÉCTRICA E ILUMINACIÓN**
- **CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y DE VENTILACIÓN:** en esta sección se inicia evaluando las condiciones de ventilación de las minas según el decreto 1886/2015 Artículo 35 y 40 referente a plan de ventilación y circuito de ventilación respectivamente.

Posterior a esto se inicia con la captura de los parámetros de medición para el diagnóstico de ventilación, estableciendo de esta manera una línea base de emisión de gas metano de las minas ubicadas en el área piloto.

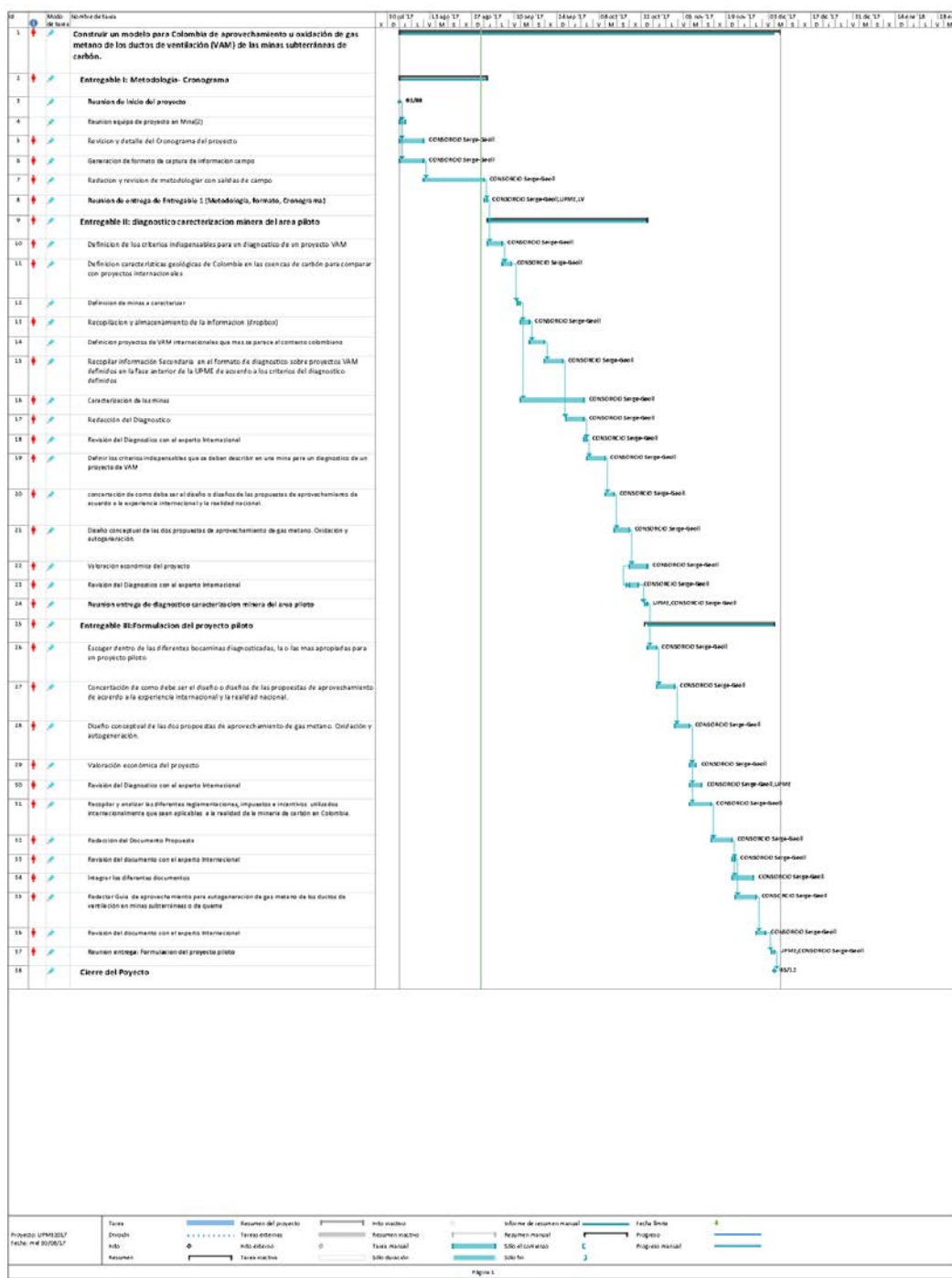
Teniendo en cuenta que el caudal de aire es el factor más significativo del sistema de ventilación debido a que establece las condiciones ambientales de la mina refiriéndonos a las que brindan confort a los trabajadores (Temperatura y humedad), este caudal también se puede ver afectado por las resistencias generadas en las labores y la capacidad de los ventiladores, por tal motivo se hace necesario determinar los siguientes parámetros de cada mina:

- Medición de la velocidad promedio.
- Medición de la sección transversal.
- Calculo de caudales.
- Caudales mínimos de aire requeridos (por número de trabajadores, por uso de explosivos, por maquinaria.)

- Medición de gases presentes en la mina.
- Medición de Resistencia aerodinámica: se refiere a cualquier obstáculo (maquinaria, herramientas, puertas, muros etc.) o superficie (tipo de sostenimiento) que impida que el aire pueda fluir libremente por las labores de la mina.
- Caracterización de los ventiladores: la caracterización de los ventiladores es importante para conocer el comportamiento del ventilador y por otro lado se podrán tomar decisiones en base a simulaciones, esto teniendo en cuenta que el estudio se refiere a construir un modelo de aprovechamiento de gas metano de los ductos de ventilación (VAM) de las minas subterráneas de carbón.

3.3. PLAN DE PROYECTO Y CRONOGRAMA

Figura 11. PLAN DE PROYECTO Y CRONOGRAMA



Fuente. Consultor

Anexo 2. PLAN DE PROYECTO Y CRONOGRAMA

4. ENTREGABLE 2: DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN MINERA DEL ÁREA PILOTO

4.1. PANORAMA DEL CARBÓN Y EL GAS ASOCIADO A NIVEL GLOBAL

El carbón es una de las más importantes fuentes de energía en el mundo moderno, genera más del 45% de la producción mundial de electricidad y es muy utilizado en la industria del acero y del cemento. Aproximadamente un 15% del carbón producido globalmente es utilizado por la industria del acero.

4.1.1. Cuantificación de Emisiones

Durante la aplicación del protocolo de Kioto y ahora el acuerdo de París, los países tienen el compromiso no solo de medir sus emisiones, sino que tienen el compromiso de crear mercados internos que permitan el desarrollo de proyectos para reducir las emisiones a la atmósfera. El gas metano es 25 veces más potente que el CO₂ en términos de producir calentamiento global por efecto invernadero. Este gas metano, es susceptible a ser utilizado para producir energía o por lo menos ser quemado para evitar su emisión a la atmósfera, es por esto, que muchos países están generando fondos verdes para el desarrollo y aprovechamiento de este energético que tiene un valor comercial y que solo necesita un marco legal ideal para su aprovechamiento y la aplicación de técnicas de extracción que permitan su explotación.

4.1.2. Diferencia contenido y emisión de gas

En esta introducción nos vamos a enfocar en los métodos de extracción y no el contenido de gas in-situ, esto nos permite saber el tiempo de reacción de cada sistema y principalmente el gas extraído por medio del sistema VAM.

4.1.3. Metano como un gas de efecto Invernadero.

El metano asociado al carbón se forma en el mismo momento en que es formado el carbón. Cuando se extrae el mineral es liberado el metano. Debido a que el metano en el aire es explosivo en concentraciones entre 5 y 15%, se utiliza la ventilación de la mina para diluir el metano a niveles por debajo del 1%, muy por debajo del límite de explosión. En este proceso, que es una medida de seguridad, se conducen volúmenes muy grandes de aire con contenido de metano extremadamente bajo el cual es generalmente liberado a la atmósfera.

Aunque la concentración de metano que emite una mina promedio es generalmente bastante baja (normalmente menor a 1 %), el volumen de aire que mueven los sistemas de ventilación es tan grande que realmente constituyen la mayor fuente de emisiones de metano de las minas de carbón subterráneas. Cada año minas de carbón subterráneas en todo el mundo (Tabla 1) emiten más de 500 mil millones de pies cúbicos de metano de sus sistemas de ventilación. Somers & Schultz (2010).

Tabla 1. Principales fuentes de emisión de VAM.

País	2009 UG Producción de Carbón (MMT)	2009 Emisiones VAM (Bm ³)	2009 Emisiones VAM (MMcCO ₂ e)
China	2663	18.2	259.1
Estados Unidos	378	2.8	40.3
Ucrania	97	2.6	36.9
Australia	117	1.3	17.6
Rusia	100	1.0	14.6
Total	3355	25.9	369

Fuente: Somers and Burklin (2012)

4.1.4. Colombia y las reducciones de emisiones de metano

Acuerdo de París y Compromisos de Colombia: En el 12 de diciembre de 2015, 195 naciones (incluyendo Colombia) alcanzaron un acuerdo histórico para combatir el cambio climático e impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones de carbono, resiliente y sostenible.

Objetivo del Acuerdo: El objetivo principal del acuerdo universal es mantener el aumento de la temperatura en este siglo por debajo de los 2 grados centígrados, e impulsar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura incluso, por debajo de 1,5 grados centígrados sobre los niveles preindustriales.

Fondo Colombiano para el Cambio Climático: El gobierno colombiano con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) creó el Fondo Colombia Sostenible, que en los primeros 3 años recaudará USD500 millones para cumplir con los compromisos ambientales del país, apoyar a Colombia en maximizar los dividendos ambientales de la paz y en el cumplimiento de las metas de desarrollo Sostenible a las que se comprometió el país, (El espectador 2017).

Marco Legal para Implementación del Acuerdo París: El 7 de septiembre de 2016 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) presentó al Congreso de la República el Proyecto de Ley No. 139 de 2016 “por medio de la cual se aprueba el «Acuerdo de París», adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia” para implementar los compromisos adquiridos por Colombia en el Acuerdo de París, el cual fue suscrito en el marco de la Cumbre de COP 21. El proyecto de Ley lo firmaron los Ministros de Vivienda, Ambiente, Relaciones Exteriores, Hacienda, Agricultura, Minas, Comercio y Transporte, quienes desde sus carteras apoyarán la implementación de medidas necesarias.

4.1.5. Metano en el sistema de Ventilación VAM

El proceso de ventilación de la mina tiene por objeto garantizar unas condiciones atmosféricas subterráneas aptas para realizar las labores mineras, entre ellas diluir las concentraciones de gas grisú en el ambiente de la mina con objeto de brindar seguridad a los mineros y a la operación misma. La ventilación tiene lugar a través

de extractores mecánicos desde superficie ya sea por tiros inclinados o verticales. La cantidad de aire que fluye en cada mina es variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas, de manera que la calidad del aire se mantenga por debajo de los niveles de seguridad especificados, que normalmente son de 0.7% de metano en promedio (Tabla 2), para Colombia este nivel de seguridad es del 1% (Decreto 1886 del 2015).

Tabla 2. Límites de Concentración de Metano Inflamable Aconsejados

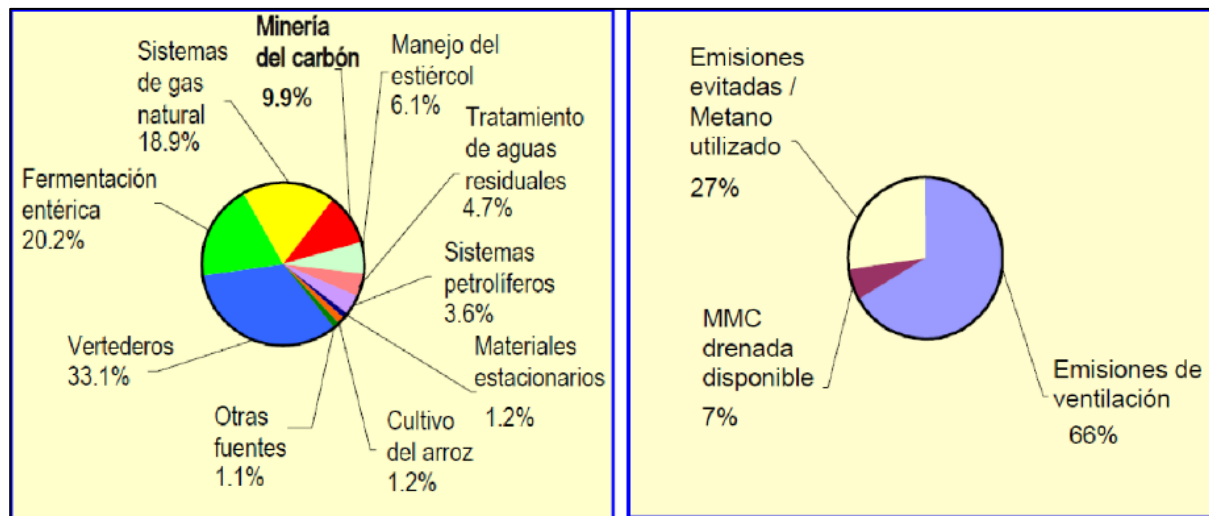
	Australia	China	Alemania	India	Sur África	Reino Unido	USA	Factores de seguridad ^a
Máximo por debajo del cual está permitido trabajar en general	1.25	1.0	1.0	1.25	1.4	1.25	1.0	3.6 – 5.0
Máximo por debajo del cual se permite el trabajo en conductos de retorno	2.0 ^b	1.5 ^g	1.5	0.75 ^h	1.4	2.0 ^b	2.0 ^b	2.5 - 6.7
Mínimo permitido para utilización	na ^e	3.0	2.5	na ^f	na ^f	4.0	2.5 ^c	1.7 – 2.7
Mínimo para el transporte subterráneo por tuberías	na ^e	na	2.2	na ^f	na ^f	na ^e	na ^d	1.5

FUENTE: UN-ECE, (2010).

- (a) Los factores de seguridad indican el rango de múltiplos por debajo del límite inferior de explosividad del 5% o por encima del límite explosivo superior de 15% de metano en el aire;
- (b) Si no hay electricidad;
- (c) Los Estados Unidos maneja la desgasificación del metano en el plan de ventilación, no hay códigos o reglamentos;
- (d) No se considera un problema en forma de gases terraplén de concentración baja, son generalmente drenados en pozos superficiales;
- (e) Determinado por la evaluación local de riesgos;
- (f) Pocas o ninguna aplicación por lo que no se abordan;
- (g) El 2,5% para un retorno sin viaje;
- (h) En la India, las normas de metano se especifican en el Reglamento de Minería de Carbón de la India de 1957, que se basa en la Ley de Minas de 1952.

VAM se define como el aire viciado, el que es evacuado por los circuitos de ventilación de minas subterráneas de carbón consideradas como grisutuosas; en realidad es el más importante recurso de gas producido en las minas de carbón ya que se considera que cerca de la mitad de gas producido se libera a la atmósfera mediante los circuitos de ventilación. En los estados Unidos la contaminación producida por la actividad minera representa el 10% del metano antropogénico que se libera a la atmósfera (Figura 12) y de esta el 66% corresponde las emisiones por la ventilación (USEPA, 2003).

Figura 12. Emisiones de metano antropogénico en los Estados Unidos.



Fuente: USEPA, 2003

Infortunadamente, debido a que la concentración de metano en el aire de ventilación se encuentra entre 0.3 y 1.5%, resulta difícil su proceso de beneficio. Sin embargo, la oxidación de metano a CO₂ y agua reduce el calentamiento global potencial en un 87%; el proceso se denomina oxidación termal regenerativa (RTO).

Proyecciones de Emisiones VAM: el informe de USEPA (2003) presenta estimaciones anuales de emisiones VAM específicas de cada país entre 2000 y 2020, que reflejan la producción esperada de carbón subterráneo para ese período (Tabla 3). Al proporcionar información sobre la tasa de crecimiento o disminución de las emisiones de VAM esperadas a lo largo del tiempo, estas proyecciones permitieron estimaciones específicas de los requisitos de capacidad de oxidación del VAM, especificaciones de diseño del sistema y costos. Como es lógico esperar la tabla muestra que en todo el mundo, se espera que las emisiones de VAM aumenten en un 30 por ciento entre 2000 y 2020 a 308 millones de toneladas de CO₂e, y también se espera que aumenten de las emisiones de VAM en todos los países de estudio, con la excepción los países que están dejando de explotar carbón.

Tabla 3. Liberación Anual por país de VAM (MMT CO₂e).

País	*2000	2005	2010	2015	2020	% de cambio
China	92.3	101.6	110.9	120.1	129.3	40.1
Estados Unidos	36.0	39.8	40.6	41.1	39.9	10.7
Ucrania	30.1	37.5	41.3	42.3	43.2	43.3
Australia	9.5	10.5	11.6	12.3	13.6	42.3
Rusia	9.2	10.8	11.2	11.6	12.0	29.7

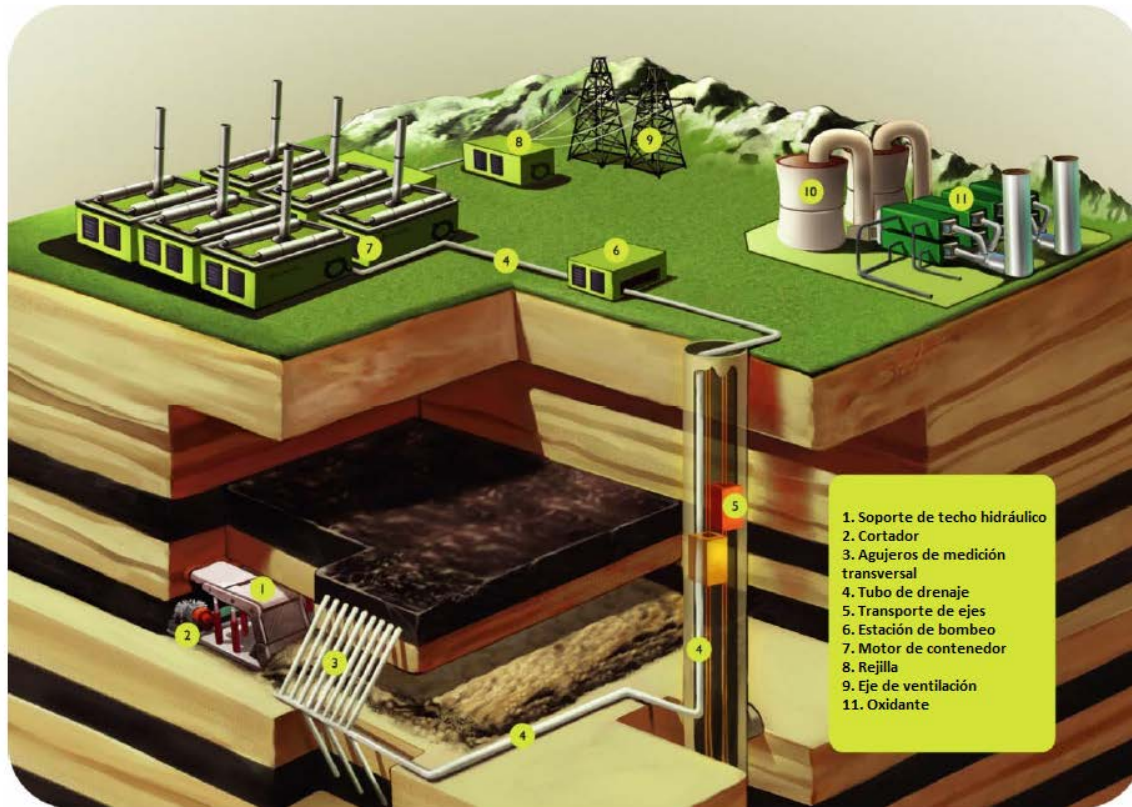
Sudáfrica	5.8	7.0	7.0	7.0	7.0	22.2
Polonia	5.7	5.6	5.0	4.8	4.5	-21.6
Kazajstán	4.5	4.7	4.7	4.7	4.7	5.5
India	4.0	4.5	4.8	5.1	5.4	36.1
Reino Unido	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	-9.6
México	1.9	2.2	1.9	2.0	2.0	4.2
Alemania	1.2	1.0	0.6	0.6	0.6	-52.7
República Checa	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	-42.8
Total estudiado				254.2	264.7	
Otros países	33.7	37.8	40.1	42.1	43.8	
Total Mundial					308.5	
*En orden de emisiones de 2000 VAM						

Fuente: USEPA, (2003)

4.2. MÉTODOS DE DESGASAMIENTO PARA EXTRACCIÓN DEL GAS METANO.

De acuerdo con el documento “Guía de Mejores Prácticas para un drenaje y Uso Eficaz de Metano en las Minas de Carbón “UN-ECE, (2010), ejemplos de utilización del metano de las minas vienen desde el siglo XVIII y sistemas controlados de drenaje desde mitad del siglo XX. La captura, utilización y reducción del gas metano producido en las labores de minería subterránea del carbón requiere el manejo de un sistema interrelacionados del drenaje subterráneo y del aire de la ventilación de la mina, que involucre la recolección, transporte del gas y de montaje para quemar o convertir el gas en energía (ver Figura 13).

Figura 13. Diseño esquemático de un sistema subterráneo de drenaje de minas de carbón e instalaciones de superficie para la recuperación de energía y reducción de CMM.



Fuente: UN-ECE, (2010).

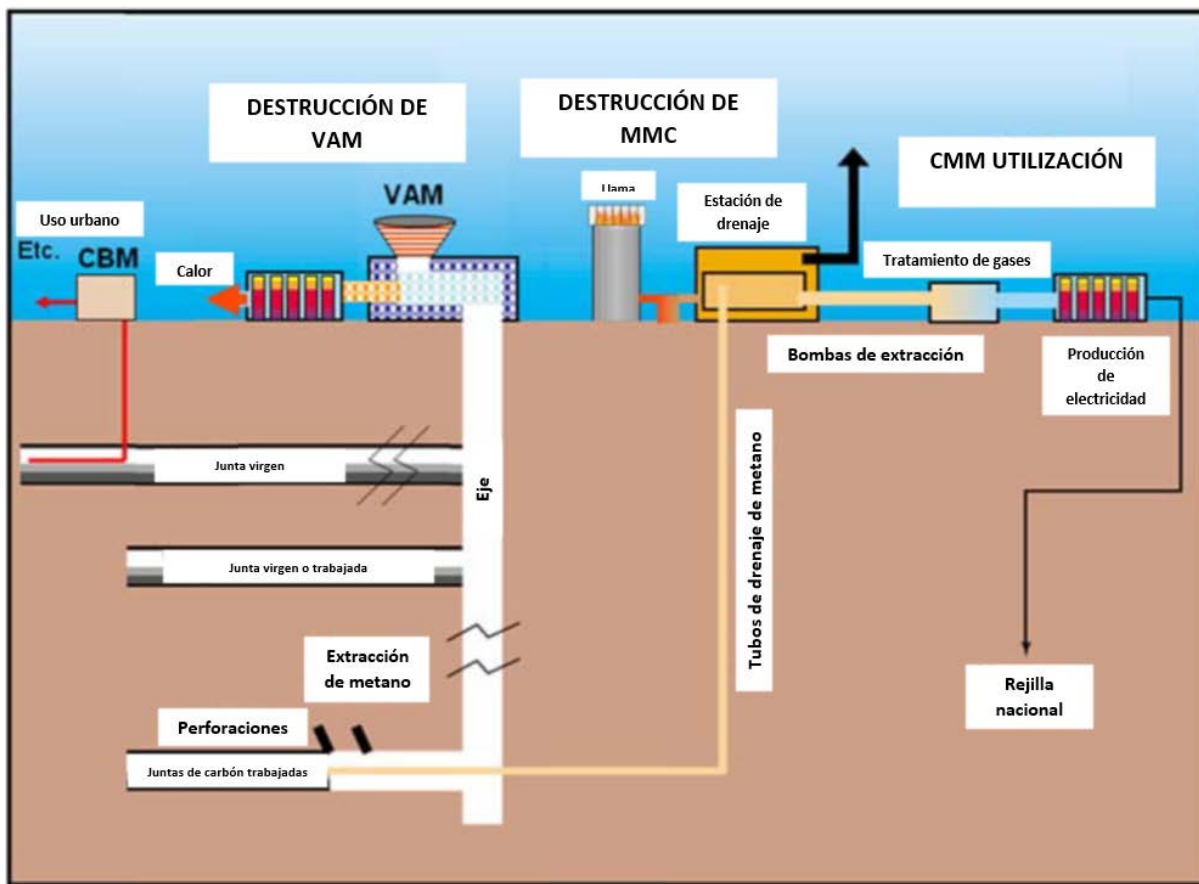
Los métodos más utilizados para extracción de gas metano en las labores de minería son el **CBM** (Coal Bed Methane) o gas metano en depósitos de carbón, el **CMM** (Coal Mine Methane) o metano de la mina de carbón y **VAM** (Ventilation Air Methane) o metano del aire de ventilación

La captura y uso del metano puede añadir un valor significativo a la operación minera. Tanto el CBM, como el CMM y el VAM que es capturado pueden ser utilizado, ya sea directamente para el suministro o la generación de energía, lo cual puede proporcionar mejores rendimientos económicos para la mina a través de la venta de energía o el ahorro de costos al generar su propia energía.

La tecnología existente y ya probada y utilizada en varios proyectos en el mundo, es capaz de optimizar la recuperación de energía y prácticamente eliminar un gran porcentaje de las emisiones de metano procedentes de la minería subterránea del carbón (Figura 14) UN-ECE, (2010).

En un sistema adecuado de desgasificación y utilización de gas metano de una mina subterránea de carbón, es posible destruir o utilizar el gas metano de tal forma que las emisiones de metano a la atmosfera sean nulas o muy bajas. En general, es técnicamente factible oxidar el VAM a concentraciones superiores a 0.20%, y hay varios proyectos comerciales actualmente en funcionamiento en todo el mundo. Es claro que la seguridad siempre debe seguir siendo la máxima prioridad en la gestión del metano en las minas subterráneas de carbón (UN-ECE, 2010).

Figura 14. Optimización de la recuperación de energía con la extracción de emisiones de metano cercanas a cero.



Fuente: UN-ECE, (2010).

Se describen a continuación los principales métodos para desgasificar una mina.

4.2.1. CBM (Coal Bed Methane)

Se denomina CBM al proceso de desgasificación que tiene lugar previo, durante y posterior a la actividad de minado. Los principales métodos consisten en CBM previo al minado, por perforación de pozos verticales o dirigidos desde superficie en áreas vírgenes por desarrollar, este proceso se realiza en muchos países por los

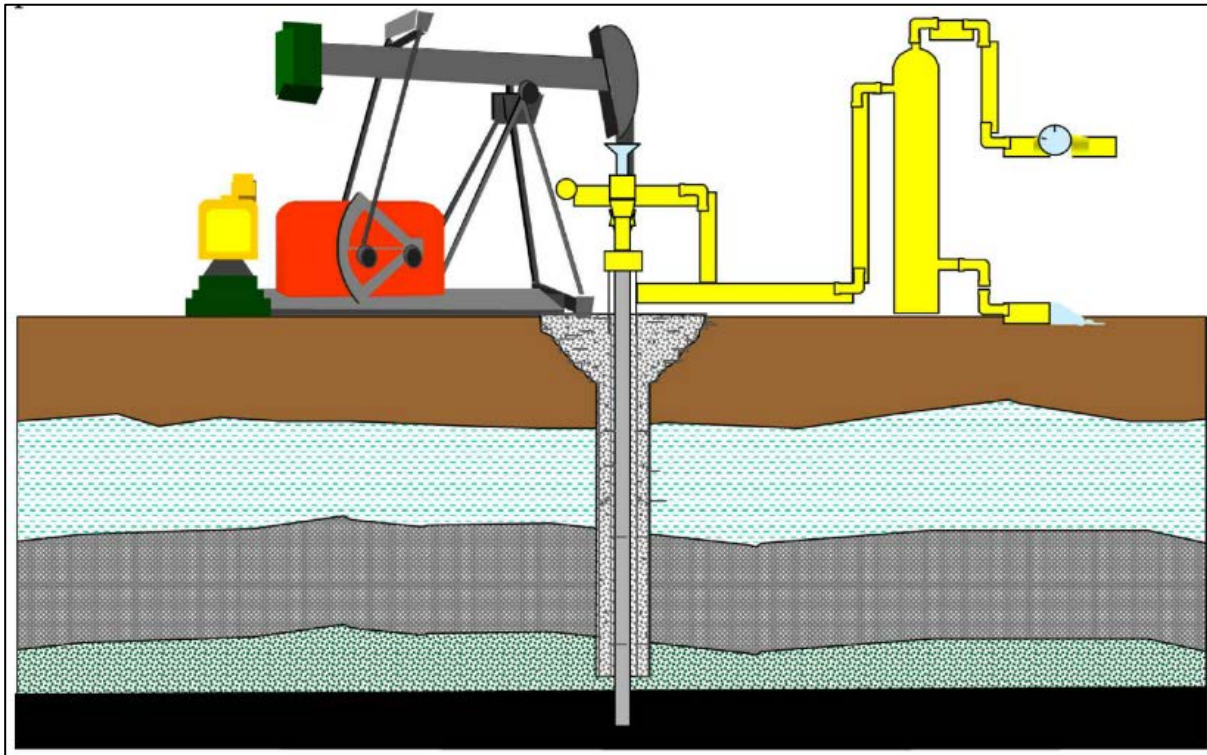
menos 10 años antes de extraer el carbón y la producción de gas es típicamente entre 100,000 a 1,000,000 de pies cúbicos por día.

El drenaje de gas Previo a la Minería del Carbón – CBM (Coal Bed Methane) es una posibilidad que puede considerarse en zonas donde no hay minería o donde no se puede desarrollar minería. Debido a que el espesor de los mantos de carbón es muy pequeño y no es posible realizar una explotación rentable, o los mantos son muy profundos y no existe la tecnología adecuada para extraerlos.

La tecnología utilizada para extraer el gas asociado al carbón de mantos profundos es la misma que se utiliza en la extracción de petróleo y gas. Primero se hace una perforación que atraviese las capas de interés, después se entuba el pozo y se continúa perforando con diámetros menores de manera telescópica. Igualmente se utilizan lodo o fluidos de perforación para refrigerar, sacar residuos y sostener el pozo. Una vez terminado el pozo, se utilizan registros eléctricos y otros registros de pozo para determinar la posición exacta de los carbones y para conocer las características físicas de las rocas. Posteriormente se hace el acabado y finalmente el fracturamiento para causar una red de fracturas en el carbón, a fin de incrementar la permeabilidad y permitir que fluya el gas durante la etapa de producción.

La perforación de pozos verticales desde superficie es la más óptima para obtener gas de buena calidad, es decir con un contenido máximo de metano, la perforación es similar a la realizada para extraer gas natural, aunque de menores diámetros. La longitud de los pozos depende de la profundidad del carbón (*Figura 15*). Si la permeabilidad del carbón no es la adecuada este tipo de extracción puede no ser económica. Esta metodología es ideal para extraer gas de una calidad lista para gasoductos de gas natural, después de procesos sencillos de purificación.

Figura 15. Diagrama Esquemático de extracción de gas metano por medio de CBM.

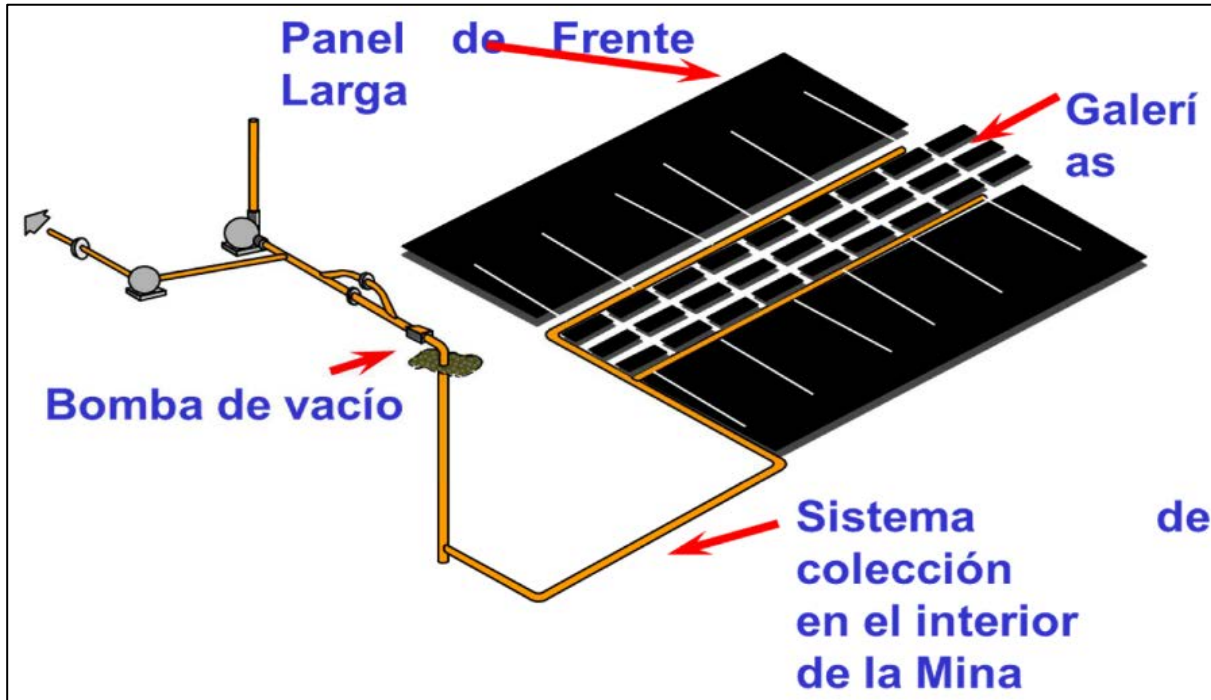


4.2.2. CMM (Coal Mine Methane)

CMM es el proceso mediante el cual se realiza la extracción del metano durante la operación de explotación minera del carbón (Figura 16) mediante la perforación de pozos horizontales con sistema rotatorio o direccional controlado. Una vez que el gas es extraído se conduce al exterior por medio de la aplicación de vacío y este gas tiene un contenido en el punto de extracción de 30 a 98% de gas metano en volumen. Esta producción de gas generalmente es vertida a la atmósfera por los concesionarios.

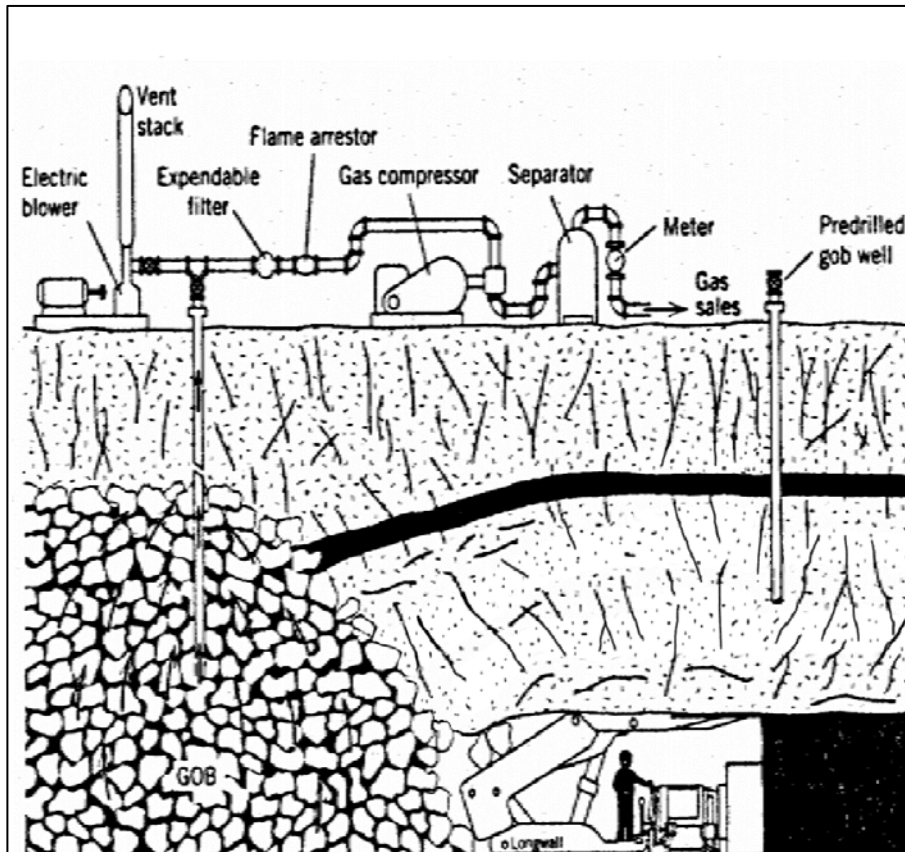
Los pozos horizontales son perforados dentro de la mina y sirven para drenar zonas que están por minarse, normalmente que pertenecen a bloques de paneles de minado continuo. La longitud de los pozos varía entre 100 y 250 metros según las necesidades del minado. Con el sistema direccional se tiene registro de profundidades de 1,500 metros sobre el manto de carbón.

Figura 16. Diagrama Esquemático de extracción de gas metano por medio Perforación Horizontal.



Perforación en Derrumbes de Tajo Largo: Esta perforación se realiza previo a la explotación del carbón por medio de tajo largo, el diseño de cada barreno depende mucho del ancho y largo del tajo largo, este diseño permite que el fracturamiento de los mantos superiores al manto de carbón explotado (Figura 17), la permeabilidad natural del carbón se incrementa por el rompimiento de los estratos y el gas se extrae del depósito formado en la parte posterior a la zona de explotación. Con la instalación de equipo de aplicación de vacío permite la emisión constante de gas y hasta el término de la operación de la frente en explotación.

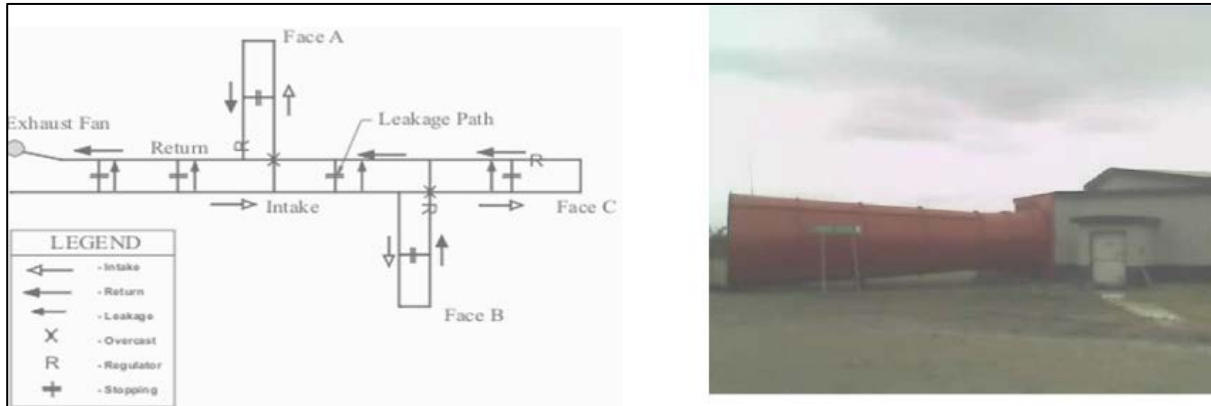
Figura 17. Diagrama de Perforación en Derrumbe de Tajo Largo.



4.2.3. VAM (Ventilation Air Methane)

VAM es el proceso de extracción de gas metano para su aprovechamiento y/o quema, mediante la aplicación negativa de presión por medio un ventilador, el cual permite la introducción del aire por los tiros de entrada, el cual es conducido por las galerías de la mina con el fin de suministrar oxígeno a los trabajadores y mantener los niveles de gas metano en los niveles adecuados para prevenir accidentes, el metano finalmente se conduce por los retornos del aire de la mina hasta el ventilador principal (Figura 18). Los niveles de concentración de gas metano generalmente se encuentran entre 0.3 a 1.0 %.

Figura 18. Diseño de Sistema de Ventilación y Ventilador Principal



4.3. TECNOLOGÍAS. VAM

El metano liberado por las operaciones de extracción de carbón, conocido como metano de mina de carbón (CMM), es un potente gas de efecto invernadero (GEI).

Actualmente, solo una fracción de las emisiones de CMM se recupera por motivos de seguridad y se utiliza como fuente de energía. Mientras tanto, del 50% al 70% de todas las MMC se originan en los sistemas de ventilación de la mina y prácticamente no se explotan. Aunque el aire de ventilación de metano (VAM) representa emisiones anuales de GEI de 300 millones de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), su contenido de metano extremadamente diluido ha demostrado ser una barrera para su uso. (4.3.2.3. BIOTHERMICA.).

Los avances importantes ahora permiten que las minas de carbón se beneficien del VAM, La destrucción de VAM se ha demostrado como segura y eficiente.

El metano contenido en el aire de las minas subterráneas de carbón que se emite a la superficie puede producir créditos (bonos) de carbono con fines de lucro, esto forma parte de las propuestas que tienen los desarrolladores de las tecnologías que aprovechan o eliminan el gas metano.

4.3.1. Sistemas De Incineradores De Gas Metano

Existen dos tipos de sistemas de incineradores desarrollados para utilizarse con gas metano producto del minado del carbón en los sistemas de ventilación, pero ambos tienen su fundamento muy similar. La diferencia radica en que uno requiere alcanzar una temperatura para oxidar el metano (superior a 1000°C) por transferencia de calor mientras que el otro utiliza un catalizador para reducir la temperatura de oxidación.

El principio básico en ambos sistemas es incorporar un intercambiador de calor donde el balance térmico se mantiene por un flujo inverso para minimizar el consumo de combustible (*Tabla 4*).

Tabla 4. Comparación de cuatro tecnologías de mitigación del VAM.

TECNOLOGÍAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
RTO de latón sencillo Medios cerámicos	Tecnología probada, mayor experiencia. Diseño compacto. Las tuberías de vapor embebidas permiten recuperar el calor si la concentración lo permite.	Bajo tiempo de residencia, altas temperaturas de oxidación y carga parasitaria. Alto costo de equipo
RTO de latón doble Medios cerámicos	Tecnología avanzada y probada. Mayor tiempo de residencia, menor temperatura de oxidación y carga parasitaria. Una gran variedad de proveedores para elegir.	Mayor cobertura que el diseño de una sola lata.
RCO de doble latón Medios catalíticos	<ul style="list-style-type: none"> Menor temperatura de oxidación y carga parasitaria. Mayor tiempo de vida útil, mayor eficiencia térmica. El diseño mecánico está probado. 	<ul style="list-style-type: none"> Los medios catalíticos pueden ser envenenados por contaminantes en el VAM. Catalizador no probado. Alto costo de equipo, Alto riesgo técnico.
Aire de combustión para turbinas eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> El contenido adicional de energía del VAM reduce el consumo total de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> La suciedad/agua en el VAM causa dificultades operativas significativas. Tecnología nueva y no probada. Sólo consume un pequeño volumen de VAM

Fuente: Somers and Burklin (2012)

Tabla 5. Comparación diferentes tecnologías de sistemas VAM

NOMBRE TECNOLOGÍA VAM	CLASIFICACION	EMPRESA VENDEDOR	CAPACIDAD (VALOR REDONDEADO)	MINIMO REQUISITO DE CONCENTRACIÓN VAM (%)	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METANO	ESTADO DE DESARROLLO	CARACTERISTICAS
Aire de combustión en motores IC	Combustible suplementario	N / A	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Proyecto VAM / CMM comercial en curso en Australia	Appin Colliery en Nueva Gales del Sur, Australia: 54 motores IC con VAM / CMM que producen 55.6 MW de electricidad
Aire de combustión en grandes hornos	Combustible suplementario	N / A	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Piloto / demostración en la central eléctrica	Central eléctrica Vales Point en Australia: VAM como aire de combustión en caldera
CH4MIN™	Oxidantes Regenerativos Catalíticos (RCO)	CANMET (Canadá)	900 m ³ /h (530 scfm)	0,15	95	Pruebas de laboratorio usando gas natural. actualmente en proceso de ser comercializado por SCS Américas	los catalizadores en el medio de intercambio de calor permiten que ocurra la reacción de oxidación a temperaturas más bajas; La apuesta probada por piloto aún no se ha probado en campo en aplicaciones de oxidación de VAM
Ecopure ©RL	Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)	Dürr Systems (USA)	6.287 – 101.952 m ³ /h (3.700 – 60.000 scfm)	0,2	99	Historia de aplicaciones industriales de control de VOC	Diseño único oxidante rotativo; probado en aplicaciones industriales, pero aún no se ha probado en campo en aplicaciones de oxidación VAM Tecnología McElroy VAM
RTO EESTech HCGT	Combustible suplementario	EESTech / CSIRO (Australia)	5-30 MW Potencia de salida	TBD	TBD	Desconocido; que actualmente busca comercializar la tecnología en China e India	Sistema de horno rotatorio que quema el carbón de desecho con VAM; el gas de escape pasa a través del intercambiador de calor aire-aire; el aire caliente luego impulsa el turbinado para producir electricidad.

NOMBRE TECNOLOGÍA VAM	CLASIFICACION	EMPRESA VENDEDOR	CAPACIDAD (VALOR REDONDEADO)	MINIMO REQUISITO DE CONCENTRACIÓN VAM (%)	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METANO	ESTADO DE DESARROLLO	CARACTERISTICAS
Flex Microturbine™	turbina de combustible pobre	FlexEnergy	6.243 m ³ /h (3.674 scfm) Para unidad de 250kW	3 a 5	99 (objetivo)	Piloto / demostración en el vertedero	Prototipo de 100 kv enviado a vertedero - proyecto gas - a - energía en febrero de 2010; el modelo de producción más pequeño será de 250kw
Modelo GCE CH4 RTO™	Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)	Gulf Coast Environmental (GCE) (USA)	84.960 m ³ /h (50.000 scfm)	0,25	95	Historia de aplicaciones de control de VOC industriales	El diseño de válvula única minimiza la caída de presión en el sistema; incluye bypass de gas caliente
Oxidante Sheng Dong	Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)	Sheng Dong Group	60.000 m ³ /h (35.316 scfm)	0,25	95	Instalación de VOC industrial en China	Recibió la patente china en mayo de 2007; diseño tradicional TFRR
VAMCAT™	turbina de combustible pobre	CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia)	TBD	1	TBD	Desconocido	unidad de demostración de 30 kW que se probara en la mina Panyi del grupo Huainan Mining en China
VAMOX™	Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)	Biothermica (Canadá)	mayor de 169.920 m ³ /h (100.000 scfm)	0,2	98	Historial de aplicaciones industriales de control de VOC; proyecto comercial de VAM - oxidación en EE. UU.	Cada unidad personalizada para cumplir con las condiciones específicas del sitio; Proyecto comercial a pequeña escala en la Mina No. 7 de JWR (activo) en Alabam.-. comenzó en enero de 2009; Primer VAM en una mina activa en las Américas; Primer oxidante de VAM para recibir aprobación de MSHA
Powerstation EC250		Ener-Core, Inc. USA	6,79 m ³ /h	1.50			

NOMBRE TECNOLOGÍA VAM	CLASIFICACION	EMPRESA VENDEDOR	CAPACIDAD (VALOR REDONDEADO)	MINIMO REQUISITO DE CONCENTRACIÓN VAM (%)	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METANO	ESTADO DE DESARROLLO	CARACTERISTICAS
COMET™		Johnson Matthey Process Technologies (Inglaterra)					
CRT		HEL East Ltd (Inglaterra)	FLUJO VAM 90,000 Nm3/h			Aplicación en la mina HATFIELD COLLIERY, Hatfield Colliery, UK,	
RTO-VAM		Fortman (Beijing) Clean Energy Technology Ltd China					
VOCSIDIZER™	Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)	MEGTEC Systems (Suecia)	125.000 m³/h (73.575 scfm)	0,2	97	Historial de aplicaciones industriales de control de VOC; proyecto VAM comercial en marcha en Australia	Disponible en unidades estandarizadas (125,000 m3 / h); demostrado por primera vez en la Thoresby Mine de British Coal en el Reino Unido en 1994; La demostración en Appln Colliery en 2001-2002 incluyó el subsistema de recuperación de calor; Proyecto a gran escala de VAM a electricidad (WestVAMP) en West Oiff Colliery de BHB Billiton en Australia en funcionamiento en abril de 2007 y genera 6 MW de potencia eléctrica para la mina; Proyecto de demostración en CONSOL Energy's Wlndsow Mine (abandonado) en el oeste de Virginia en 2007-2008

Fuente: Somers & Schultz, 2010

4.3.2. Regenerative Thermal Oxidizer - RTO

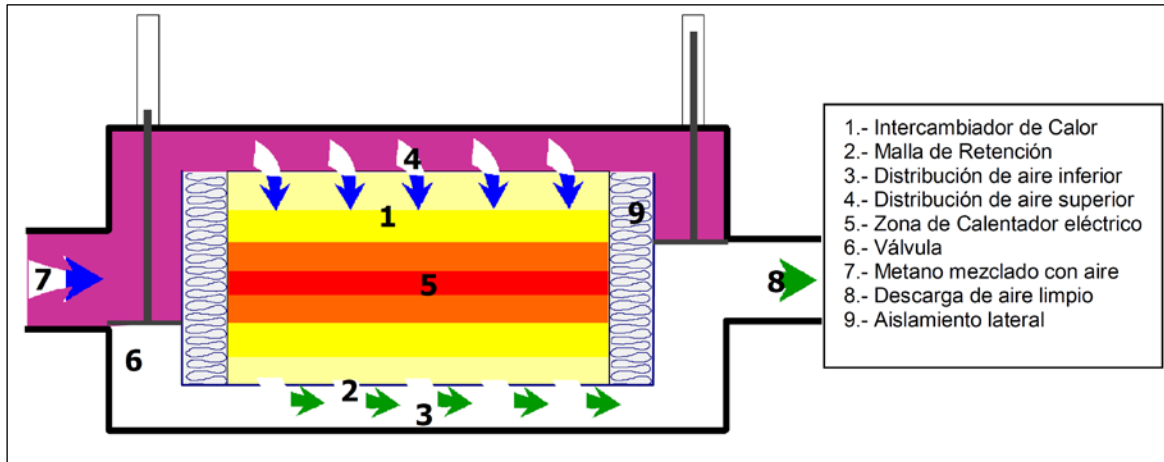
Un sistema Oxidante Térmico Regenerativo o conocido por sus siglas en inglés RTO (Regenerative Thermal Oxidizer) está compuesto esencialmente por un incinerador que ha establecido una reputación a través del mundo de remover compuestos volátiles orgánicos de procesos de desperdicio de aire con aplicación en un amplio ramo de la industria.

Fue desarrollado y ha sido probado comercialmente en el proceso de oxidación térmica de compuestos orgánicos con más de 600 instalaciones en una gran variedad de aplicaciones para la reducción de emisiones. Donde ha alcanzado los rangos de destrucción de más del 99%. El incinerador ha sido probado para la destrucción del gas metano diluido en una corriente de aire.

El RTO es esencialmente un incinerador de flujo regenerativo que opera a una temperatura de combustión de 1000 °C (1832 °F) pero que brinda un beneficio adicional, la combustión es sin flama. El incinerador combina el principio del intercambiador de calor degenerativo entre el gas (aire de ventilación de la mina) y un sólido (la base matriz) con una temperatura de oxidación auto-controlada. La reacción de oxidación se lleva a cabo en la zona degenerativo de la cámara, pero sin flama abierta.

La ausencia de flama permite que el proceso máximo de temperatura es relativamente bajo, nunca excede los 1000 °C, esto permite casi no tener producción de óxido nitroso. La recuperación es muy alta es posible un 99 %, el exceso de energía está disponible a temperaturas atractivas. El aparato es de simple construcción con muy pocas partes móviles, por lo cual tiene un bajo costo de mantenimiento. El incinerador consiste esencialmente de una estructura de dos o tres contenedores con un elemento eléctrico de calor en el centro, arreglo de válvulas para un flujo inverso. El proceso es monitoreado y controlado por instrumentación apropiada, controladores lógicos, y artículos de seguridad. El dibujo de la parte inferior nos muestra las principales funciones (ver Figura 19):

Figura 19: Principales funciones de un incinerador



Con el propósito de entender la función del aparato, la mejor forma es describir la secuencia de eventos que se llevan a cabo desde que se prende. Las reacciones de oxidación se llevan a cabo en la base del material de cerámica con características específicas para almacenar y transferir el calor. Antes de la operación en la primera ocasión, la combustión de la base es pre-calentada utilizando un elemento de calor eléctrico en el centro de la base de cerámica. Un perfil de temperatura es establecido en el centro de la base requerida para iniciar la combustión del metano (superior a 1000°C). Aire limpio entonces es alimentado al sistema.

El incinerador está probado en aplicaciones de la industria y mencionando los puntos más relevantes también donde se ha utilizado con gas metano producto de las operaciones mineras específicamente en los circuitos de ventilación de la mina de carbón:

1. El incinerador está probado en la utilización de gas en más de 600 instalaciones en el mundo por diferentes firmas.
2. El incinerador ha probado tener la habilidad de destruir el metano sin ningún otro combustible en concentraciones del 0.3% en volumen, pero lo ideal es operarlo a 0.9 %.
3. Se tiene instalados muchos RTO para también recuperar calor
4. Una demostración de una unidad con una capacidad de 3 m³/s fue operada exitosamente en una mina de Inglaterra a principios de los 1990's
5. Una segunda demostración de un tamaño similar se llevó a cabo en una mina de Australia con la incorporación de la base de intercambiador de calor para recuperar un bajo grado de calor
6. Actualmente en China tiene la mayor cantidad de proyectos desarrollados.

La tecnología RTO (por sus siglas en inglés) emplea el principio de intercambio de calor regenerativa entre un gas y un lecho sólido de calor de un intercambiador; VAM fluye dentro de un reactor en una dirección ganando temperatura ya que el calor es transmitido del lecho caliente hacia el metano, oxidándolo; el calor producto de la oxidación se transmite luego al intercambiador incrementando la temperatura del proceso. A intervalos especificados el flujo es automáticamente revertido y la parte del intercambiador que ha sido calentada ahora calienta el gas de entrada. A través de tubos ubicados en el interior del intercambiador, el exceso de calor del proceso puede ser transferido para necesidades de calentamiento local o para producción de energía (Tabla 6).

Tabla 6. Generación Energía Actual a Nivel Mundial

País	Concentración Promedio en la Descarga (%)	Emisión Anual Bm3	Equivalente Anual en MMTCO ²	Precio Promedio de la Energía US\$/kW
México	0,5	0.2	2.2	0.0475
China	0.46	7.1	101.6	0.035
Australia	0.4	0.7	10.5	0.02
EUA	0.39	2.8	39.8	0.03
Rusia	0.38	0.8	10.8	0.044
Alemania	0.3	0.07	1	0.065
Ucrania	0.3	2.6	37.5	0.03
Kazajstán	0.29	0.3	4.7	0.018
Polonia	0.26	0.4	5.7	0.03
Republica Checa	0.259	0.05	0.8	0.0468
India	0.1	0.3	4.5	0.07
Sudáfrica	0.1	0.5	7	0.01
Inglaterra	N/A	0.1	2.1	0.03

4.3.2.1. MEGTEC Systems

La compañía estadounidense MEGTEC Systems manufactura tal reactor, el cual llaman VOCSIDIZER.

VOCSIDIZER consiste en un gran lecho de material cerámico instalado en un contenedor hermético de acero, un sistema de ventilación obliga a la entrada del aire de la mina hacia arriba o abajo del lecho dentro de la cámara, válvulas

instaladas reversan el flujo cada dos minutos, un sistema de encendido eléctrico calienta el centro de la cámara a 1832°F manteniéndolo caliente.

4.3.2.2. Gulf Coast Environmental System (GCES).

Gulf Coast Environmental Systems es un proveedor de servicios que ofrece servicios de ingeniería, fabricación, puesta en marcha, actualizaciones, modernización y soporte y servicios continuos. Es Fabricante de Equipo Original (OEM) de sistemas de control de contaminación de aire, agua y suelo que incluyen; Lavadores, Sistemas de Adsorción de Carbono, Bengalas e Incineradores, así como una línea completa de Oxidantes Térmicos como Oxidantes Térmicos Regenerativos (RTO), Oxidantes Catalíticos, Oxidantes Recuperativos Térmicos (TRO), Oxidantes Térmicos de Disparo Directo (TO), Unidades de Combustión de Vapor (VCU), y un RTO acuoso para aguas residuales que está pendiente de patente (Tipos de incineradores.) (Figura 20).

Figura 20. Tipos de incineradores.



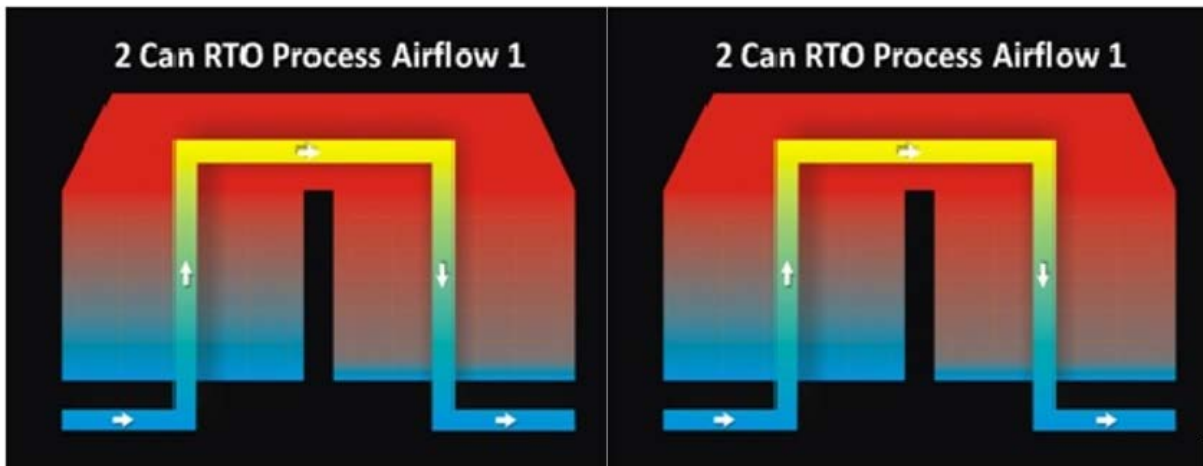
Fuente. Gulf Coast Environmental Systems

Funcionamiento de los incineradores RTO de GCES.

Paso 1: La unidad RTO, lleva a la temperatura de combustión, con combustible suplementario, (como gas natural, propano, diesel o biocombustible). Durante este período de arranque, la unidad RTO inicialmente se purga con aire fresco y continúa procesando aire fresco hasta que alcanza el equilibrio de la temperatura de combustión. Después de esto la unidad RTO está lista para cambiar al aire de proceso (de mina de carbón subterránea para este caso) y puede comenzar la oxidación térmica de VOC con una eficiencia de destrucción de hasta 99%.

Paso 2: El RTO cambia del modo de puesta en marcha en aire limpio a la operación en aire de proceso VOC desde la fuente. Para maximizar la recuperación de calor, el RTO automáticamente hará un ciclo o alternará la entrada y la salida (ver los diagramas a continuación) a través de una serie de válvulas neumáticas. Debido a que el RTO es eficiente en la recuperación del calor del efluente, las unidades a menudo son capaces de mantener las temperaturas de combustión sin ningún combustible suplementario, utilizando el VOC como la única fuente de combustible.

Figura 21. Diagramas de flujo de un RTO de 2 cámaras.



Fuente. Fuente. Gulf Coast Environmental Systems

4.3.2.3. BIOTHERMICA.

Biothermica tiene el sistema comercial VAMOX® para la oxidación de gas metano, puede ofrecer un esquema de proyecto basado en regalías, lo que significa que los proyectos de VAMOX® pueden llevarse a cabo sin inversión de capital por parte de las minas de carbón. (Datos de su página web). El VAMOX® convierte el metano en dióxido de carbono y vapor de agua utilizando el principio probado de oxidación térmica regenerativa (RTO).

La RTO se basa en la inversión cíclica del flujo de aire a través de recipientes múltiples (cámaras) de cerámica que absorbe el calor medios que actúan como intercambiadores de calor. Este mecanismo permite la recuperación de hasta el 96% de la energía contenida en los gases de combustión. Por lo tanto, VAMOX® destruye VAM de una manera autosustentable, incluso niveles extremadamente bajo de metano. Cada tonelada de metano oxidado por VAMOX® reduce las emisiones de GEI en aproximadamente 18 ton de CO₂e y puede generar muchos créditos de carbono.

4.3.2.4. CANMET.

La tecnología de oxidación catalítica "CH₄ MIN" fue desarrollada por CANMET, una organización de investigación energética del gobierno canadiense que forma parte de Natural Resources Canadá ("NRCan").

La eliminación del metano de baja concentración del aire de los ductos de ventilación utiliza un proceso de oxidación catalítica o térmica, acopla la oxidación catalítica de las emisiones en el reactor con intercambio de calor regenerativo. Dos lechos de material inerte están separados por el lecho catalítico y actúa como intercambiador de calor regenerativo, proporcionando una transferencia de calor muy eficiente.

La estabilidad térmica y el funcionamiento estable del reactor están garantizados por una inversión periódica en la dirección del flujo del aire de ventilación de la mina. Parte del calor del reactor se puede utilizar para producir electricidad o calor para la mina.

Sindicatum adquirió los derechos globales (excluido Japón) hasta 2019 para usar la tecnología CH₄MIN. Se llevaron a cabo pruebas a gran escala de esta tecnología durante 2008 y 2009 en una ubicación en los EE. UU. Para facilitar el diseño de un oxidante catalítico regenerativo comercial, el primero de los cuales se instaló en la mina de carbón Duerping, provincia de Shanxi, China, pero nunca fue operado.

4.3.2.5. DÜRR.

El diseño fue creado con el objeto de brindar condiciones seguras para el desarrollo minero, el RTO funciona en modo sin llama, utilizando un quemador solo para el calentamiento inicial del sistema.

Todos los componentes del RTO son (intrínsecamente) seguros o están diseñados para evitar chispas en la corriente de aire cargada de metano. Los monitores y sensores LEL (sensores para detección de gases inflamables) que tienen una reacción rápida, junto con los amortiguadores de aislamiento de acción rápida, forman parte integral del sistema (RTO).

La eficiencia de destrucción del metano en el RTO es solo una parte de la medición del rendimiento del sistema. Para maximizar este parámetro, se debe lograr la captura y el transporte adecuados del aire cargado de metano al RTO.

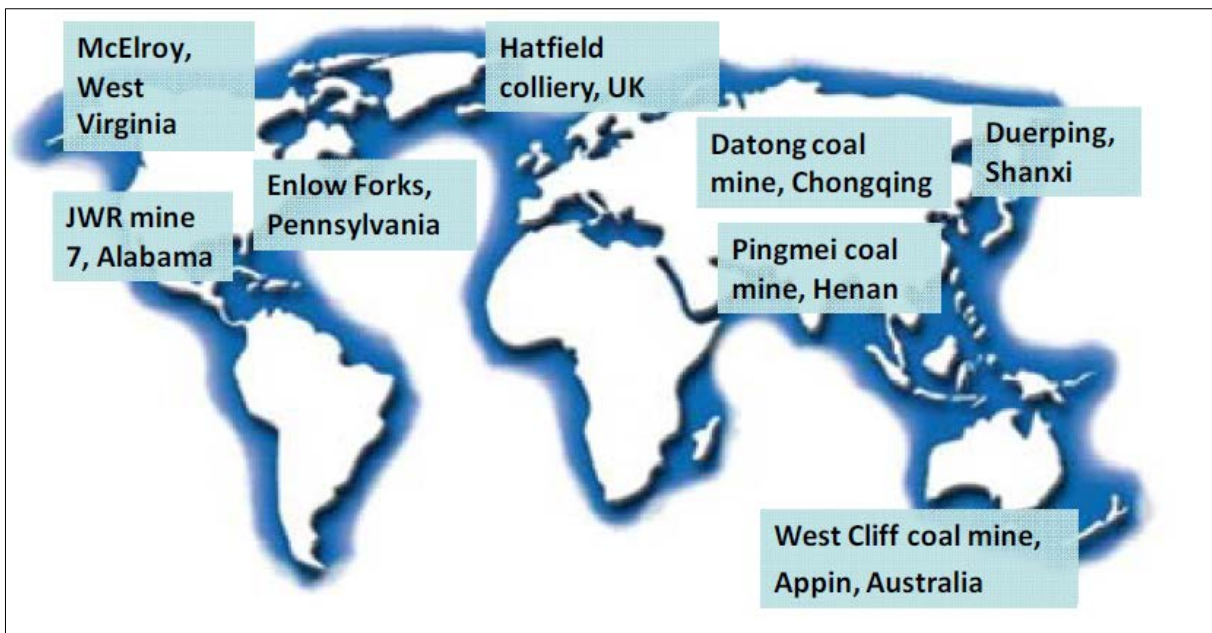
La experiencia de diseño de ventilación industrial de Dürr, junto con el uso de dinámica de flujo computacional (CFD), aseguran que la campana de captura y conductos (tubería para conducción del aire) minimizarán el gasto de capital y el impacto operacional en el sistema de ventilación de la mina, al tiempo que suministran una cantidad confiable de metano al RTO para su eliminación.

El sistema RTO de Ecopure® proporcionan eficiencias de destrucción superiores al 97%, además los altos niveles de recuperación de energía primaria aseguran que el único consumo continuo de energía provenga de la energía del ventilador del proceso. Se puede lograr un mayor retorno de la inversión con la introducción de la recuperación de calor secundario mediante el uso del sistema de recuperación de energía variable de Dürr. El uso de este calor para vapor, generación eléctrica u otros fines es posible con el diseño base o con un sistema complementario.

4.4. DIAGNÓSTICO INTERNACIONAL PROYECTOS EXITOSOS VAM

4.4.1. Historia De Proyectos Exitosos De VAM

Figura 22. Principales Proyectos de Prueba de VAM a nivel mundial.



Fuente: Somers and Burklin (2012)

La utilización o reducción del metano como resultado de la ventilación de mina de carbón fue una labor probada por primera vez con éxito en Thoresby y luego probada a gran escala en Appin (2001-2002). El problema más importante para que no se intentara antes fue que las emisiones de flujo de aire eran muy grandes y además, las concentraciones de metano son extremadas diluidas (Figura 22 y Tabla 7).

En Appin se pudo utilizar la energía liberada mientras se disminuye las emisiones de metano para generar electricidad. El proyecto inició con la utilización de VAM con una prueba a pequeña escala durante 12 meses. Se utilizó un sistema RTO de tamaño pequeño para procesar VAM utilizando la energía liberada para generar vapor. Gracias a la prueba de largo tiempo (12 meses) se logró demostrar que era posible recuperar eficientemente energía, a pesar de los cambios naturales de concentración de VAM en la mina. (UNECE, 2010).

El proyecto de prueba de Appin, el VAM fue utilizado como una fuente de energía suplementaria. Después de esto, se han realizado esfuerzos para desarrollar tecnologías capaces de usar VAM como fuente de energía primaria (por ejemplo, turbinas de combustible pobre) (Somers and Schultz, 2008).

El segundo proyecto de demostración VAM de América del Norte se desarrolló en la Mina No. 7 de JWR en Brookwood, Alabama. Su diseño VAMOX® difiere ligeramente del empleado por MEGTEC en que se emplea un lecho de reactor doble, lado a lado (USEPA, 2010).

El proyecto Windsor se diseñó en una mina abandonada con el fin de dar una experiencia práctica y controlada del funcionamiento de la oxidación del VAM y determinar que el proceso no afecta las operaciones de la mina. La demostración está destinada a verificar: la eficiencia de destrucción de VAM, la seguridad operativa del sistema y la operación confiable del sistema bajo condiciones de campo, Somers & Schultz (2008).

El proyecto de Zhengzhou fue el primero en reducir las emisiones de gas metano en China gracias a los incentivos de crédito de carbono que financia proyectos de este estilo mediante mercados de CDM, asociando un grupo minero estatal, un desarrollador de proyectos CDM, un proveedor de tecnología, utilizando tecnología RTO sin llama. Este proyecto fue registrado en el marco del protocolo de Kyoto (UNECE, 2010).

En los últimos años, tecnologías de oxidación de inversión de flujo han sido utilizadas con éxito en VAM de minas de carbón activas y abandonadas. Esta tecnología es utilizada industrialmente para el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de una manera muy segura y eficaz. Cálculos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2003) estimaron que, en el 2002, esta tecnología pudo mitigar en Estados Unidos, unos 1,8 millones de metros cúbicos de metano (25,8 millones de toneladas de CO₂e) generando \$ 124 millones en ventas de electricidad cada año y miles de millones en ventas de equipos (Somers and Schultz, 2008)

A principios de 2010, la ONU aprobó formalmente los primeros CER's mundiales basados en un proyecto VAM (créditos de carbono relacionados con el Protocolo de Kyoto), para un proyecto en China (Grupo Minero ZhengZhou en la provincia de Henan).

A principios de 2007, la primera demostración estadounidense de esta tecnología comenzó a operar en una mina abandonada en Virginia Occidental. El proyecto está diseñado para demostrar la robustez operativa de la tecnología, su capacidad para oxidar el metano de forma fiable a concentraciones típicas de los tubos de escape de la mina y su seguridad.

Tabla 7. Resumen de los proyectos mundiales de VAM en 2012.

PROPIETARIO, MINA, UBICACIÓN,	DESARROLLADOR	PROVEEDOR DE OXIDANTES	FLUJO VAMNM ³ /HR	AÑO DE PUESTA EN FUNCIONAMIENTO
CONSOL ENERGY, ENLOW FORKS, Pennsylvania, USA,	Consol, Green Holdings	Durr Systems, USA	480,000	2012
CONSOL ENERGY, MCELROY, West Virginia, USA,	Consol, Sindicatum Carbon Capital	Durr Systems, USA	510,000	2012
SINDICATUM, DUERPING, Shanxi, China,	Sindicatum Carbon Capital	Sindicatum, Natural Resources, Canadá	72,000	2012
SINDICATUM, DUERPING, Shanxi, China,	Sindicatum Carbon Capital	MEGTEC	120,000	2012
HATFIELD COLLIERY, Hatfield Colliery, UK,	HEL-East, Ltd.	HEL-East, Ltd.	90,000	2011
SONGZAO COAL & ELECTRICITY, DaTong, Chongqing, China,	AES Co., SongZao Coal & Electricity, Shenzhen Dongjiang Environmental Renewable Energy	MEGTEC	375,000	2011
PINGDINGSHAN COAL Group, Mine 4, Henan,	Shengdong	Shengdong		2010
JIM WALTER RESOURCES, Mine, Alabama, USA,	Biothermica Technologies	Biothermic a Canada	50,000	2009
ZHENGZHOU, GAOCHENG, Henan, China,	EcoCarbone	MEGTEC	60,000	2008
BHP-BILLITON, WEST CLIFF, New South Wales, Australia,	BHP-Billiton	MEGTEC	250,000	2007

Fuente: Modificado de Somers and Burklin (2012)

4.4.2. Una Planta de Energía A Partir de VAM Exitosa

Las recomendaciones establecidas por UNECE (2010) para que una planta de energía a partir de VAM sea exitosa son:

- La concentración de VAM debe ser igual o superior al 0.7%
- El volumen de aire de ventilación de ser mínimo 500.000Nm³/h (300.000scfm).
- Debe haber un proceso de drenaje de gas m (CMM) que genere como mínimo una concentración de metano del 25% y que se encuentre disponible para la inyección en el aire de ventilación, con el fin de compensar el déficit de concentración de VAM. La utilización de metano de baja concentración tiene riesgo de explosión.
- Agua disponible para refrigeración.
- Localización cercana a una red de distribución de alta tensión eléctrica para la exportación de la energía generada.

4.4.3. Mercado De VAM En El Mundo

Un informe publicado en el 2003 por Programa de Alcance de CBM la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos denominado *Evaluación del potencial mundial de mercado para la oxidación del aire con mina de carbón. Metano de ventilación* (USEPA, 2003) plantea los diferentes escenarios para que sea atractivo económicamente la generación de proyectos de VAM en el mundo.

Teniendo en cuenta que el metano que en este momento es emitido a la atmosfera en los ductos de ventilación de las minas de carbón constituye una fuente de energía generalmente no utilizada y un potente gas de efecto invernadero atmosférico (GEI) y que ya existen tecnologías que pueden reducir las emisiones de ventilación de metano (VAM) mientras se aprovecha la energía de metano es muy importante que las Naciones productoras de carbón estimulen su utilización. El informe de la USEPA (2003) estima las emisiones globales de VAM y el potencial para su mitigación en donde las tecnologías más probadas y efectivas en el momento actual, son las de oxidación térmica y catalítica las cuales son efectivas para utilizar las bajas concentraciones de metano contenidas en las corrientes de VAM.

En el informe de la USEPA (2003) utilizando datos de fuentes públicas como privadas en donde se estima la producción para ese momento (2002) de carbón subterráneo, los flujos de aire de ventilación y los valores unitarios de emisión de VAM (es decir, emisiones específicas). El uso de esas estimaciones en combinación con los datos del costo del equipo permitió el desarrollo de curvas de costo marginal de reducción (marginal abatement cost - MAC), para diferentes países y se estimó para todo el mundo, los costos asociados con la mitigación de varios niveles de emisión de VAM

La Tabla 8 presenta las previsiones de las ventas y los ingresos de la capacidad de energía eléctrica neta que crearían todos los proyectos factibles de VAM en cada país (según las emisiones estimadas en 2002), en un escenario en donde todos los VAM en la curva MAC que cuestan menos de \$ 3 por tonelada de CO₂ fueron mitigados con la instalación de proyectos de energía. En este escenario surgirían un gran número de proyectos y ofrecerían un importante mercado de hardware y una importante actividad económica (**Tabla 8**).

Tabla 8. Potencial del mercado mundial de proyectos VAM (valor menor a \$3.00/Ton de CO₂e).

PAIS	EMISIÓN TOTAL DE VAM AÑO 2002 (BM3)	EMISIÓN TOTAL DE VAM <\$3.00 TON CO ₂ E (BM3)	CAPACIDAD ELECTRICA NETA (MW)	VENTA DE EQUIPOS (US\$000,000)	VENTA DE EQUIPOS (US\$000,000)
China	6.7	5.47	1,365	3,802	431
Estados Unidos	2.6	1.81	457	1,213	124
Ucrania	2.2	1.13	264	912	71
Rusia	0.7	0.61	141	498	56
Australia	0.7	0.37	96	243	17
Polonia	0.4	0.26	52	258	22
Kazajstán	0.3	0.04	11	29	2
Reino Unido	0.2	0.13	31	96	8
México	0.1	0.10	27	62	11
Alemania	0.08	0.07	16	63	9
República Checa	0.06	0.04	5	54	2
Total Estudiado	14.1	10.03	2.465	7.230	753
Otros países	2,5	1,7	40	1.199	125
Total Mundial	16.6	11.73	2.505	8.429	878

*En orden de las emisiones VAM de 2002
**Los números pueden no ser iguales a los totales debido al redondeo.

Fuente: comunicación escrita Santillán (2017).

Tabla 9. Oportunidades del mercado mundial para las tecnologías VAM.

PAÍS, PRODUCCIÓN DE CARBÓN (2009) (10 ⁶ MT/yr))	VAM PRODUCCIÓN 10 ⁹ M ³	CONDICIONES DE MINERÍA	COMENTARIOS DEL MERCADO
China 2,666	18.3	<ul style="list-style-type: none"> Numerosas minas subterráneas de carbón son muy grisutuosas. 	<ul style="list-style-type: none"> Mecanismos de desarrollo Limpio (CDM) vigente Valor de carbono extendido hasta 2020

			para permitir el retorno de la inversión.
India 529		<ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de las minas subterráneas son a pequeña escala • no grisutuosas, • actualmente ofrecen malas condiciones para Reducción de VAM. 	<ul style="list-style-type: none"> • La industria del carbón de la India tiene previsto aumentar drásticamente la producción de carbón para 2020.
Estados Unidos 378	2.8	<ul style="list-style-type: none"> • Las grandes minas grisutuosas • brindan condiciones favorables para los proyectos de reducción de VAM. 	<ul style="list-style-type: none"> • El Mercado global Voluntario de Carbono (VCM) está debilitado • Presenta grandes obstáculos financieros.
Rusia, Ucrania, Kazakstán 300	6.2 ^a	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia gama de técnicas mineras, condiciones mineras y niveles de mecanización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial significativo para proyectos de reducción de VAM.
South África 250		<ul style="list-style-type: none"> • Las minas tienden a ser poco profundas, por lo tanto, no grisutuosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Buen potencial de futuro a medida que las minas de carbón accedan a reservas más profundas.
Australia	1.3	<ul style="list-style-type: none"> • Hay varias minas subterráneas s en funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • La reciente adopción del impuesto sobre el carbono podría proporcionar un mecanismo para el retorno de la inversión.
México 12		<ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de las minas utilizan técnicas modernas de revestimiento metálico • presentan características favorables de reducción de VAM, como grandes volúmenes y altas concentraciones de VAM. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos CDM y VCM vigentes con un valor de carbono hasta 2020 para permitir el retorno de la inversión.

Fuente: Somers & Burklin, 2012

4.4.4. Costos Tecnología De Drenaje De Gas Metano

Por razones obvias, la mayoría de las minas de carbón subterráneas de todo el mundo consideran que el metano es un problema y un costo significativo para las operaciones. Para mitigar el riesgo de explosiones, los operadores de minas pagan cantidades significativas de dinero para instalar sistemas de ventilación de metano para monitorear y extraer el metano de las minas subterráneas. Los costos para desarrollar y operar sistemas de ventilación se ejecutan en \$ millones de dólares.

Pre-drenaje: extracción de metano antes del comienzo de las operaciones mineras. El drenaje previo si se realiza 5 años o más antes de extraer una nueva veta de carbón, puede conducir a la captura de hasta 90% de metano in situ. El drenaje previo reduce drásticamente el flujo de gas a los mantos a trabajar, lo que es importante para reducir el riesgo de explosión, lo que reduce el tiempo de inactividad y reduce los costos de ventilación. El metano de drenaje previo suele ser de muy alta calidad (90% + por volumen) y adecuado para la inyección de gas natural en la tubería después de un tratamiento mínimo o para la generación de energía y calor. En algunas minas, el tiempo de inactividad por problemas asociados al gas metano es considerable y causa costosas pérdidas a la mina. Los recortes de costos de ventilación pueden ser hasta la mitad del costo original del sistema de ventilación. En un estudio se estableció, una mina con 400 pies³ / tonelada de metano usando pozos verticales para pre-drenaje, se estimó una reducción de US \$ 11 millones durante 20 años en costos de ventilación, sin incluir los ingresos de carbono y energía (iii) (Protección Ambiental de EE. UU. Agencia, 1999).

Drenaje posterior: la extracción de metano de las áreas derrumbadas, en las que ya se han extraído el carbón también puede dar como resultado la captura de metano y las compensaciones de carbono. Este procedimiento también se usa con minas de carbón abandonadas. La CMM posterior al drenaje tiene concentraciones del 30% -70%, lo que es adecuado para cierta generación de energía / calor y puede actualizarse para suministrar un tipo diferente de central eléctrica o incluso para la inyección de gas natural en la tubería. A partir de 2006, 23 minas estadounidenses emplean drenaje posterior con 13 de ellas vendiendo el gas recuperado en tuberías, mientras que tres utilizan el metano para generación de energía / calor (US EPA, 2009).

Ventilation Air Methane (VAM): Los ingresos por la destrucción del metano en VAM dependen completamente del mercado de carbono. Si las compensaciones de carbono se valoran en un mínimo de US \$ 10, se requerirían niveles de concentración de metano de alrededor de 0.45% para obtener ganancias.

Para la generación de energía, se requieren concentraciones de al menos 0.7%. Debajo de eso, la generación de electricidad es inviable pero la generación de calor (para uso interno como calderas) sigue siendo factible.

VAM se presenta como una de las mejores opciones para proyectos de carbono en minas de carbón debido a su relativa simplicidad y bajo costo, el inconveniente es que para la mayoría de los proyectos no se generará calor o energía y, como tal, los ingresos dependen únicamente del carbono.

El desafío, por lo tanto, es encontrar una mina que tenga la concentración y el volumen de metano adecuados cuando los mercados de carbono cumplan con los umbrales mínimos de precios para proporcionar una tasa interna de retorno (TIR) suficiente.

Las unidades de VAM cuestan alrededor de \$ 20- \$ 30 USD por SCFM (*pies cúbicos estándar por minuto*), En la **Tabla 10** se presentan los costos de proyectos VAM en algunas empresas del mundo

Oxidante Térmico Regenerativo de MEGTEC capaz de manejar 60,000 scfm de VAM. A una concentración de metano de aproximadamente 0.7%, una unidad de este tamaño genera 50,000 créditos de carbono por año. Esta unidad cuesta alrededor de US \$ 1,5 millones.

Figura 23. Oxidante Térmico Regenerativo de MEGTEC



Tabla 10. Costos de proyectos VAM según algunas empresas en el mundo

Titulo		Capacidad Instalada	Inversión por Unidad (Millón RMB)	Proporción: costo operativo anual / inversión total	Inversión por Unidad (DOLARES)
Industria de carbón Yima (Group) Co.Ltd.	Proyecto de utilización de CMM (UNFCCC ref. 1613)	11MW	7.96	9.16%	\$ 1.194.000
		1 VAM oxidizer	15.106		\$ 2.250.000
Pingdingshan Coal (Group) Co.Ltd. Provincia Henan, China	Proyecto de utilización de metano, (UNFCCC ref.1614)	19MW	5.71	10.07%	\$ 856.500
		4 VAM oxidizers	15.106		\$ 2.250.000
Industria de carbón Zhengzhou (Grupo) Co., Ltd.	Proyecto de utilización de mina de metano mi mina de carbón (UNFCCC ref. 1603)	8MW	8.91	9.59%	\$ 1.336.500
		7 VAM oxidizers	14		\$ 2.100.000
Jiada Coal Mine CMM and VAM Utilization Project	Proyecto de utilización de CMM y VAM	3MW	7.66	10.90%	\$ 1.149.000
		3 VAM oxidizers	6.79		\$ 1.050.000

4.4.5. Usos de CMM

Una vez extraído, el metano de la mina de carbón puede ser utilizado para el consumo de energía in situ por la mina de carbón o, en algunos casos, incluso puede filtrarse y venderse en el suministro de gas. El uso más común del metano es la cogeneración, donde la energía eléctrica (generalmente decenas de megavatios) se utiliza para abastecer la demanda interna, mientras que el calor se captura y se suministra a los hogares de los mineros. El uso de la energía disminuye los costos del uso de la red de electricidad y genera créditos de carbono. A menudo, el metano recuperado se usa para que los empleados de la mina dispongan de duchas de agua caliente en el sitio.

El metano puede ser una fuente de combustible para vehículos o para el sistema de ventilación. El metano capturado también se puede usar para secar el carbón húmedo.

En todas estas situaciones, si el metano recuperado reemplaza otra fuente de energía más sucia (por ejemplo, quemar carbón para secar carbón), el uso del metano recuperado crea un proyecto adicional de compensación de carbono a Través De Un Programa De "Interruptor De Combustible".

4.4.6. Compensaciones De Carbono Y Método De Mina De Carbón

En la industria de las minas de carbón, la captura de metano es una actividad relativamente nueva, y por ser nueva, es vista por los operadores de las minas como una actividad de alto riesgo. Esto sucede, incluso si los resultados económicos son notoriamente buenos o aceptables (por accidentes evitados, reducción en los costos de los sistemas de ventilación como resultado de que las minas desgasificantes reducen los requisitos de tamaño de los sistemas de ventilación y los costos de energía para bombear el aire),

En Colombia, una expresión conocida es "hay que ver para creer" (hay que verla para creerlo). Muchos operadores de minas de carbón son naturalmente cautelosos sobre la adopción de nueva tecnología, especialmente en lo que se refiere a algo tan importante como la reducción del metano.

Aquí es donde las compensaciones de carbono entran en escena. Las compensaciones de carbono se crean cuando una empresa aumenta su eficiencia o reduce (o secuestra en el caso de proyectos forestales) las emisiones de CO₂ liberadas a la atmósfera.

El proceso para generar y vender compensaciones de carbono es algo complicado ya que requiere determinar las líneas base, estimar reducciones basadas en

metodologías aprobadas de los diversos organismos certificadores, desarrollar documentación detallada de los objetivos y resultados del proyecto, identificar, financiar e implementar la tecnología apropiada, validando y verificar el proyecto a través de auditores externos aprobados, monitorear el proyecto durante su vida y, por supuesto, asegurar la venta de las compensaciones de carbono. Los originadores de carbono, como CO₂ IMPACT o ERA (Ecosystem Restoration Associates) para proyectos forestales, gestionan todo este proceso de principio a fin para los propietarios del proyecto, en este caso, el propietario de la mina.

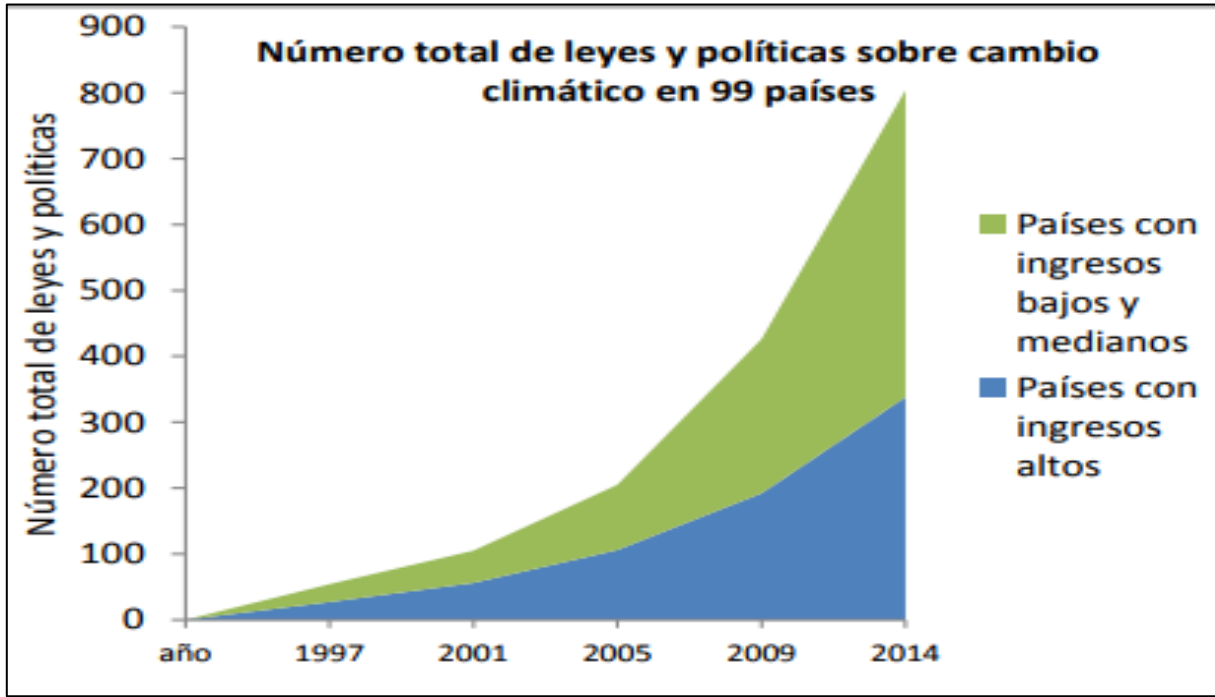
4.4.7. Políticas E Incentivos Internacionales

Uno de los desafíos más grandes que actualmente estamos viviendo a nivel mundial es el cambio climático, muchos países del mundo incluido Colombia han acordado limitar el calentamiento medio global a menos de 2°C esta meta genera grandes esfuerzos para todos los gobiernos, por tal motivo es de vital importancia tener clara la leyes y políticas que rigen en nuestro país.

A finales de 2014 había 804 leyes y políticas sobre cambio climático, un incremento desde solo 54 leyes y políticas en 1997, y desde 426 en 2009, cuando se firmó el Acuerdo de Copenhague. Aproximadamente la mitad (398) fueron aprobadas por el poder legislativo, y la mitad (408) por el poder ejecutivo (p.ej. normas y decretos). En 2014, sólo se aprobaron 46 leyes y políticas nuevas, en comparación con las 82 que se aprobaron en 2013⁴.

⁴ http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/05/Spanish_2015_for-web.pdf

Figura 24. Número de leyes y políticas sobre cambio climático.



Fuente: Nachmany et al, 2015, http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/05/Spanish_2015_for-web.pdf

El estudio de legislación sobre cambio climático 2015 abarca 99 países, que producen el 93% de las emisiones mundiales, entre ellos 46 de los 50 mayores emisores del mundo.

De estos 99 países, 58 países tienen leyes o políticas marco para abordar tanto la mitigación como la adaptación. La legislación marco se ha definido como una ley, o norma con estatus equivalente, que sirve como base integral y unificadora para la política sobre cambio climático, y que aborda múltiples aspectos o áreas de la mitigación y la adaptación frente al cambio climático (o ambas) de manera holística y global. 17 países no tienen ningún tipo de marco legislativo sobre el clima.

Para el año 2014 se promulgaron 46 nuevas leyes y políticas por parte de 34 de los 99 países que abarca el estudio de legislación sobre cambio climático 2015, 17 países en desarrollo y 17 países desarrollados. De estas leyes, 21 fueron legislativas (aprobadas por los Parlamentos) y 25 fueron ejecutivas (promulgadas por los Gobiernos). Las leyes y políticas relacionadas con el clima que se aprobaron en 2014 se enumeran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Leyes y políticas aprobadas en 2014

PAIS	LEY/POLITICA	LEGISLATIVO/EJECUTIVO
Alemania	Programa de acción 2020 para la protección del clima	Ejecutivo
Angola	Decreto presidencial 85/14 por el que se aprueba el Estatuto del Ministerio de Ambiente (MINAMB) Decreto Presidencial 17/14 por el que se aprueba el Programa de Modernización del Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica (INAMET)	Ejecutivo
Argelia	Orden reguladora sobre la electricidad generada en instalaciones fotovoltaicas	Ejecutivo
Australia	Proyecto de ley de enmienda de la iniciativa sobre agricultura de bajo carbono	Legislativo
Austria	Ley de eficiencia energética	Legislativo
Bangladés	Marco de fiscalidad climática	Ejecutivo
Bélgica	Ley especial para reformar la financiación de las comunidades y las regiones, la extensión de la autonomía impositiva de las regiones y la financiación de nuevas competencias	Legislativo
Bolivia	Ley 602 sobre gestión de riesgos	Legislativo
Bulgaria	Ley de mitigación del cambio climático	Legislativo
Chile	Ley No. 20780 sobre el impuesto medioambiental (tasa al carbono); Plan nacional de adaptación al cambio climático	Legislativo
China	Plan de acción estratégica de desarrollo energético (2014-2020); Plan nacional de lucha contra el cambio climático (2014-2020)	Ejecutivo
Colombia	Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional	Legislativo
Dinamarca	Ley de cambio climático 2014	Legislativo
Eslovaquia	Resolución 148/2014, que establece la estrategia de adaptación nacional	Ejecutivo

España	Real Decreto 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos; Real Decreto 525/2014, por el que se regula la concesión directa de subvenciones del Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente (PIVE-6)	Ejecutivo
Francia	Política marco sobre agricultura, bosques y alimentación 2014-1170	Legislativo
Filipinas	Orden ejecutiva 174 por la que se institucionaliza la gestión de inventarios y el sistema de notificación de los gases de efecto invernadero	Ejecutivo
Grecia	Decisión ministerial 21906 sobre la compensación de industrias intensivas en carbono (sectores y sub-sectores) expuestas a fugas de carbono causadas por los costos indirectos del EU ETS	Ejecutivo
Indonesia	Plan nacional de desarrollo a medio plazo (2015-2019); Nueva ley geotérmica 21/2014	Ejecutivo
Irlanda	Plan de acción nacional sobre eficiencia energética; Plan de desarrollo de energía renovable marina	Ejecutivo
Italia	Decreto Ley 145/20131 de enmienda del régimen de incentivos a las plantas eléctricas alimentadas por fuentes de energía renovable distintas a las plantas fotovoltaicas; Ley 116 de medidas urgentes para el sector agrícola, el medio ambiente, el desarrollo de empresas y, entre otros, la reducción de las facturas de la energía	Legislativo
Marruecos	Real Decreto 1-14-09, que promulga la Ley marco 99-12, concerniente a la carta nacional del desarrollo medioambiental y sostenible	Ejecutivo
Mongolia	Política de desarrollo ecológico	Ejecutivo
Pakistán	Pakistán 2025: Una nación, una visión	Ejecutivo

Perú	Directiva sobre comercialización de tarifas generadas por los proyectos de conservación de los ecosistemas en áreas protegidas nacionalmente; Ley 30215 sobre mecanismos de compensación para servicios a los ecosistemas	Ejecutivo Legislativo
Polonia	Estrategia para la seguridad energética y el medio ambiente	Ejecutivo
Republica Democrática del Congo	Ley 14/003 sobre protección de la naturaleza; Ley 14/011 sobre el sector de la electricidad	Legislativo
Rumania	Ley de eficiencia energética 121/2014; Decisión gubernamental 1026/ 2014 sobre la reorganización de la Comisión Nacional sobre Cambio Climático	Ejecutivo Legislativo
Rusia	Decreto 321, por el que se aprueba el Programa estatal sobre eficiencia energética y desarrollo	Ejecutivo
Senegal	Decreto 2014-880 sobre los poderes del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	Ejecutivo
Tanzania	Plan agrícola de capacidad de respuesta climática	Ejecutivo
UE	Marco de políticas climáticas y energéticas para 2030 Estrategia europea de seguridad energética	Legislativo
Zimbabue	Estrategia Nacional de Respuesta al Cambio Climático	Ejecutivo

Fuente: Estudio de legislación sobre cambio climático 2015

Una ley marco se define como una ley, o norma con un estatus equivalente, que actúa como base integral y unificadora para las políticas de cambio climático, y que aborda aspectos y asuntos múltiples de la mitigación o adaptación (o ambas) al cambio climático de manera holística y global, en este sentido hay 8 leyes marco de estas características que fueron aprobadas en el 2014:

Colombia, en el 2015 lanzó la Política Nacional De Cambio Climático, cuyo objetivo es incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades

que el cambio climático genera. La aspiración para el largo plazo, y a la que contribuye este objetivo general, es lograr que el país sea carbono neutral.

En 2016 promulgo la ley 1819 de 2016 Impuesto Al Carbono. El Impuesto al carbono es un gravamen que recae sobre el contenido de carbono de todos los combustibles fósiles, incluyendo todos los derivados de petróleo y todos los tipos de gas fósil que sean usados con fines energéticos, siempre que sean usados para combustión, el impuesto no se causa a los sujetos pasivos que certifiquen ser carbono neutro, de acuerdo con la reglamentación que expida el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

4.4.8. Políticas E Incentivos Para Proyectos De Mitigación De Emisiones De Gas Metano.

Los países que tiene minería de carbón tradicionalmente han enfocado sus políticas y regulaciones en el tema de seguridad minera. Estas políticas varían considerablemente tanto en su mecánica como en su efectividad. Recientemente se ha tenido en cuenta en algunos países, políticas que incentiven la implementación de proyectos de mitigación de emisiones de gas metano (CMM y VAM) son enumerados a continuación (CATF, 2012):

Los temas más importantes para establecer políticas que apoyen la recuperación y utilización de metano mediante tecnologías VAM y CMM son:

1. Establecer requisitos reglamentarios en la operación de minas subterráneas de carbón, las opciones incluyen:
 - Exigir la mitigación de las emisiones de CMM y VAM (p. ej., requieren oxidación o quema)
 - Exigir la recuperación y uso de CMM y VAM para la generación de energía
 - Requerir el uso de unas herramientas tecnológicas para el drenaje, ventilación y captura de gas metano en las operaciones de CMM y VAM.
 - Establecer un estándar para las emisiones o recuperación de gas metano (es decir, "mejores prácticas").
2. Establecer un nivel límite para las emisiones de gas metano que incluya CMM y VAM.
 - Límite de emisiones para el total de gases de efecto invernadero a nivel estatal, regional o nacional
 - Un sistema basado en el mercado podría permitir la negociación de reducciones de emisiones.
3. Incluir CMM Y VAM como una posible "compensación" en un programa de comercio de emisiones.

4. Establecer estrategias para que las fuentes de financiación creadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero podrían pagar las reducciones de emisiones de los proyectos CMM Y VAM.
5. Establecer incentivos financieros:
 - Proporcionar subsidios para la energía generada por CMM Y VAM y / o el gas CMM Y VAM que se recupera y usa
 - Proporcionar desgravaciones fiscales a los productores de gas CMM y VAM o desarrolladores de proyectos
 - Proporcionar garantías de precios u otros incentivos, tales como:
 - a) Garantía de precio para la electricidad generada por CMM Y VAM
 - b) Cartera de energía "renovable" que requiere cierto porcentaje de energía de la combinación de fuentes, donde CMM Y VAM califica.
6. Proporcionar fondos para investigación y desarrollo.
7. Apoyar proyectos de demostración de tecnología.
8. Apoyar el desarrollo de infraestructura, por ejemplo, gasoductos de gas natural o instalaciones de GNL.
9. Tener claras las reglas sobre la propiedad del gas metano a partir de mantos de carbón, durante y después de la extracción.
10. Tener muy claro de quien es la propiedad de los créditos de reducción de emisiones de carbono.

Las políticas, regulaciones, requisitos para proyectos CMM Y VAM pueden depender de varios factores:

Uso final: Ventilación, quema y recuperación de energía de CMM Y VAM pueden ser todos consideradas actividades distintas o cubiertas bajo diferentes estatutos u organismos reguladores.

Estado de la mina: minas operativas (activas) o minas abandonadas (cerradas).

Algunas de las políticas más importantes, realizadas por los principales países productores de carbón para incentivar la utilización de gas metano de las minas de carbón se mencionan a continuación (BANKS, 2012):

4.4.8.1. China

- 2006, autoridades locales garanticen que las minas de carbón implementen el uso de tecnología cuando se extrae gas antes de la extracción de carbón.
- 2007, Gestión de precios para gas metano de minas de mercado para aumentar la producción de CMM y VAM

- 2007 NDRC genero una recomendación gubernamental para darle prioridad por los operadores de redes de energía a la electricidad generada por las plantas de gas metano de minas de carbón. Sin embargo, este aviso no se ha cumplido en la práctica.
- El Ministerio de Finanzas emitió Dictamen de Ejecución sobre Subsidios para el gas metano de minas de carbón, mediante el cual cualquier empresa dedicada a la extracción de metano dentro de China tiene derecho a subsidios financieros, si se utiliza in situ o se comercializa para uso residencial o como materia prima química.
- El 11 ° plan quinquenal alentó el desarrollo gas metano de minas de carbón:
 - ✓ La producción nacional alcanzará los 10 mil millones de metros cúbicos para 2010
 - ✓ Gestión de precios para gas metano de minas de carbón transportada a través de gasoductos de la ciudad
 - ✓ Electricidad de gas metano de minas de carbón priorizada para la red y un precio subsidiado
 - ✓ Subsidios financieros para uso en el sitio, uso residencial, materia prima química
- El Consejo de Estado requiere drenaje CMM en minas de carbón
- El Ministerio de Protección Ambiental establece un estándar de emisión para gas metano de minas de carbón
- Prohíbe la emisión de metano de los sistemas de drenaje de CBM
- Los sistemas de drenaje CMM con una concentración de metano superior al 30 por ciento deben usar el gas.

4.4.8.2. India

- ✓ Intercambio con la USEPA de información sobre gas metano de minas de carbón.
- ✓ Regulación de gas metano de minas de carbón, política de CBM mediante el Marco regulatorio de CMM en formulación por el Gobierno de la India (1997).

4.4.8.3. Rusia

Decreto del gobierno ruso para la energía renovable (2009) que establece objetivos para el aumento en la participación de la electricidad generada por fuentes de energía renovables; este incentivo aplica para gas metano de minas de carbón.

Ley Federal de la Federación Rusa sobre Subsuelo: Regula la exploración, el uso y la protección del subsuelo en Rusia, incluida la gestión de residuos en el sector

minero. Establece el marco para la gestión y protección del subsuelo integral y sostenible, y garantiza los derechos del estado y los ciudadanos rusos, así como los titulares de licencias. En esta ley se presenta una incertidumbre sobre el estado legal de CMM recuperado y su uso lo que obstaculiza las actividades de los inversores de terceros que están interesados en la utilización del gas recuperado.

Una enmienda a la Ley Federal sobre el Subsuelo tiene como objetivo crear una nueva visión del gas metano de minas de Carbón entre los titulares de licencias. Considera el metano como potencial fuente de energía valiosa y limpia que puede explotarse de manera rentable. Sin menoscabar la aplicación rigurosa las normas de seguridad. El objetivo de estas enmiendas legislativas es orientar a los productores hacia la garantía de una mayor seguridad mediante la desgasificación previa a la extracción y la recuperación de gas metano de minas de carbón, junto con la utilización. De esta forma, los cambios legislativos podrían contribuir a resolver una serie de aspectos importantes como mejorar la seguridad del personal de minería; introducción de tecnologías para la recuperación y utilización de gas metano asociado al carbón en minas; y proporcionar a la industria materia prima para producir metanol, gasolina, amoníaco, combustible Diesel y otros productos valiosos

Decreto sobre Pagos por Emisiones de Contaminantes en la Atmósfera, el metano se define como un contaminante. Este decreto establece fórmulas y límites regionales de emisión y define los montos de los pagos que las empresas deben cobrar anualmente por las emisiones de contaminantes a la atmósfera y el agua.

Directrices sobre la desgasificación de las minas de carbón es obligatoria para todas las minas donde el contenido de metano es superior a 13 m³ por tonelada métrica de carbón seco sin cenizas y para las minas gaseosas cuando la ventilación sola es insuficiente para mantener las concentraciones de metano en niveles seguros. También establecen las concentraciones mínimas de metano del gas de la mina que pueden usarse como combustible o como sustituto del gas natural: el 25 por ciento para fines industriales y el 50 por ciento para fines no industriales.

En 2008, el gobierno ruso desarrolla requisitos obligatorios sobre la desgasificación de los mantos de carbón antes de la extracción, y propuestas para alentar a las compañías a llevar a cabo el drenaje previo de mantos de carbón. Estos requisitos deben incorporarse en los requisitos de la licencia, se establece un sistema de indicadores del contenido de gas en las vetas de carbón, dependiendo de las condiciones geológicas y mineras. Se establecen regulaciones para alentar la recuperación de metano de los depósitos de carbón. Más específicamente, las propuestas:

- ✓ Normas nacionales para regular el sistema de recuperación de metano de la mina de carbón y estableció un sistema de registro para el metano recuperado;
- ✓ incluyó un nuevo tipo de producto (metano de mina de carbón recuperado) y un nuevo tipo de actividad económica (recuperación de metano de mina de carbón) en el sistema nacional de clasificación de tipos de actividad económica, productos y servicios (un sistema utilizado por empresas y gobierno para clasificar y medir la actividad económica, productos y servicios);
- ✓ estableció una tasa de impuestos del cero por ciento para la recuperación de metano de la mina de carbón;
- ✓ Derechos de aduana reducidos / abolidos para el equipo importado utilizado para la recuperación y utilización de CMM y VAM.

4.4.8.4. Estados Unidos

Mediante el Rol del Gobierno Federal de EE. UU:

- La Agencia de Protección Ambiental regula el gas metano de minas de carbón a través de Nuevas Normas de Desempeño de Fuentes, la sección 111 de la Ley de Aire Limpio.
- La EPA, a través de su Regla de Informes de Gases de Efecto Invernadero, requiere que se notifiquen las emisiones de gas metano de minas de carbón.
- La EPA promueve la recuperación y el uso rentables del metano de la mina de carbón a través del alcance voluntario de la industria.
- La EPA financia demostraciones de tecnologías de metano de aire de ventilación, Admite estudios de viabilidad y pre factibilidad; análisis técnicos y económicos y Apoya la creación de capacidades y el desarrollo de proyectos en el extranjero a través de la Asociación "Methane to Markets".

4.4.8.5. Polonia

Plan de inversión ecológica mediante la Ley de 17 de julio de 2009 - sistema de gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero y otras sustancias.

Conforme al Artículo 17, el Protocolo de Kioto creó la posibilidad del comercio internacional de derechos de emisión, utilizando las denominadas AAUs (Assigned Amount Units). Dentro de este marco, Polonia puede usar alrededor de 500 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Polonia tiene un considerable excedente de AAUs. Los ingresos por comercializar en los años 2009-2012 se destinarán a financiar medidas nacionales, como proyectos de cambio de combustible que eviten o reduzcan las emisiones de metano mediante recuperación y uso en el sector

minero, gestión de residuos sólidos y aguas residuales y la agricultura, así como a través del uso para generar energía.

4.4.8.6. Ucrania

Ley Arancelaria Verde: la electricidad generada a partir de fuentes alternativas debe comprarse en el Mercado Mayorista de Electricidad (el Arancel Verde). La Ley proporciona una tarifa de alimentación garantizada para la energía renovable, incluido gas asociado al carbón, durante 20 años.

4.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE PROYECTOS INTERNACIONALES

4.5.1. Proyecto Mina De Carbón De Thoresby

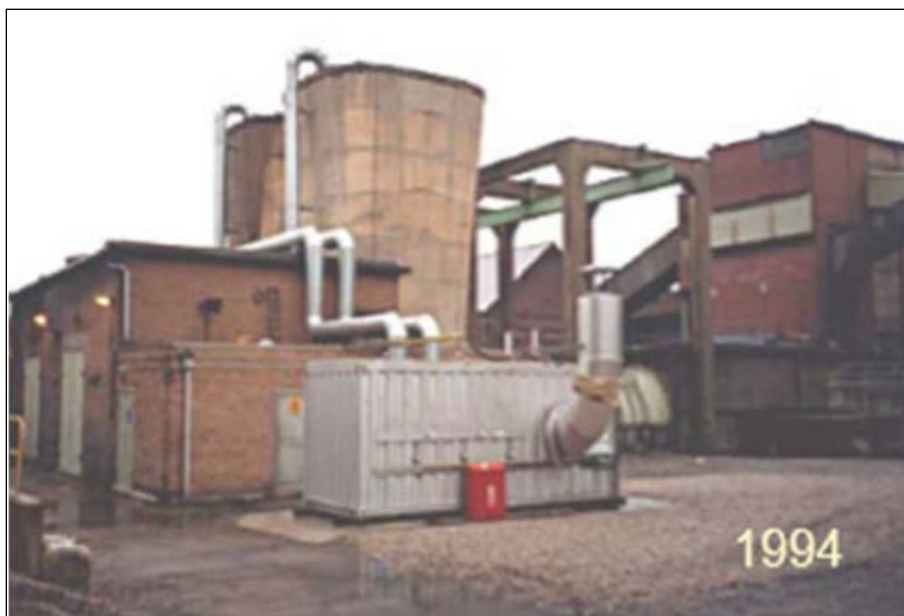
Proyecto Mina De Carbón De Thoo DE PROYECTO	Primera demostración de utilización de VAM (Figura 25).		Año	1994
Empresa	Megtec			
Localización	Reino Unido. Mina Thoresby, Nottinghamshire			
TÉCNICA APLICADA				
Tipo de Utilización	Oxidación	Si		
	Aprovechamiento	no		
Concentración del gas	0,3-0,6% de metano. Demostró una operación auto sostenida a 0,1% de metano. EPA, (2007), Somers & Schultz (2008), Somers & Schultz (2010).			
Acumulación de gas	El sistema oxidó un flujo de VAM (4.700 cfm) de una mina subterránea gaseosa. Ese proyecto demostró exitosamente la capacidad del RTO para mantener la operación en los flujos de escape de minas bajo condiciones reales de campo. EPA, (2007), Somers & Schultz (2008), Somers & Schultz (2010).			
Costos de inversión	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	Costos de operación y mantenimiento	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	
ASPECTOS TÉCNICOS				
ASPECTOS GEOLÓGICOS				
<p>La mina de Thoresby se encuentra ubicada en la cuenca de Carbón de los Pennines del Este. Los mantos de Carbón están cubiertos por estratos de edad Permo-Triásica que contienen acuíferos, sin embargo, hay suficiente cobertura para eliminar cualquier riesgo de entrada de agua. En general, los mantos de carbón buzanan al Suroeste (SW) ya que se encuentra influenciado por el anticlinal de Bothamsall al Norte. En la mina se evidencian fallas menores que no resultan ser un obstáculo para la explotación de los mantos.</p> <p>En la mina se encuentran 3 mantos de carbón considerados en la clasificación de reservas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manto Parkgate: En el área central de la mina, se espera encontrar limolitas con intercalaciones de areniscas de canal cubriendo el manto de carbón. Al noroeste, en el área de la zona de Reserva Ollerton, el manto se encuentra parcialmente erosionado por areniscas pertenecientes a un amplio canal que se extiende en dirección noreste. En la parte sur de la mina el manto se encuentra cubierto por lodolitas y lomolitas. El espesor promedio del Manto de carbón Parkgate varía entre los 1.50 m y 1.85m. 				

- Manto Deep Soft: Hacia el techo del manto se encuentran unidades compuestas de lodolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas de canales que atraviesan el área de la mina en dirección Suroeste(SW)-Noreste(NE). Ascendiendo estratigráficamente, predominan areniscas de mayor competencia, posiblemente erosivas con intercalaciones de limolitas arenosas. Hacia la base del manto se encuentran unidades de lodolitas de proveniencia marina. Los espesores de carbón varían entre los 1.26 m a los 1.70 m.
- Manto High Hazles: Al techo del manto se encuentra por lo general lodolitas y/o lodolitas limosas. El espesor del manto varía entre los 1.05 m a 1.15m.

ASPECTOS ECONÓMICOS

Mediante esta demostración de un proyecto VAM (producto VOCSIDIZER™) este proyecto demostró con éxito la capacidad del RTO para mantener una operación eficiente y sostenida en los flujos de escape de minas de carbón, bajo condiciones reales de campo. EPA, (2007), Somers & Schultz (2008), Somers & Schultz (2010).

Figura 25. Primera Demostración 1994.- Thorseby Coal Mine.



4.5.2. Proyecto Appin Colliery

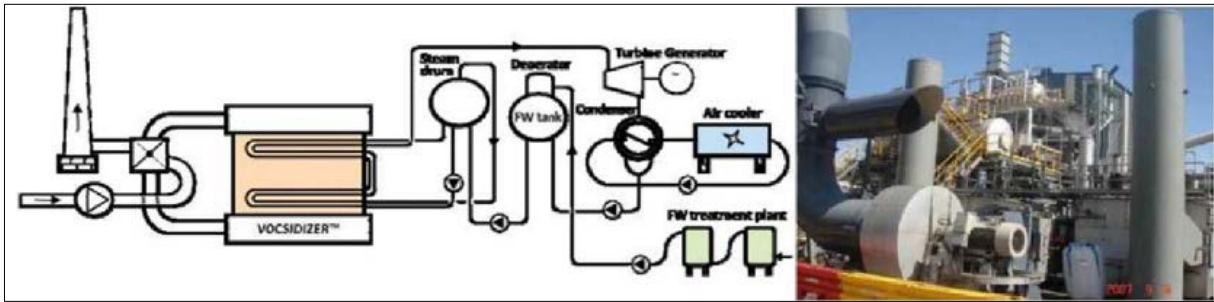
TIPO DE PROYECTO	Reducción de Emisiones de VAM y la utilización de la energía Liberada en la Oxidación de VAM para generar energía (Figura 26, Figura 27 y Figura 28)	Año	2001 -2002
Empresa	BHP Billiton Megtec		
Localización	Nueva Gales del Sur, Australia		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	no	
	Aprovechamiento	si	

Concentración del gas	Se inició con una concentración de Ventilación de 0.9% de CH ₄ (UNECE, 2010). El drenaje de gas generaba una concentración inicial superior al 25%. Todo esto se emitía a la atmosfera (UNECE, 2010).		
Acumulación de gas	Demostración para recuperar calor 6000 m ³ /h de aire de ventilación Capacidad de oxidar el aire de ventilación (3.500 cfm) y también recuperó el 90% del calor como agua caliente. La planta de energía está diseñada para procesar 150.000 cfm de aire de ventilación, lo cual corresponde al 20% del volumen total disponible que producen los escapes de la ventilación (UNECE, 2010).		
Costos de inversión	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	Costos de operación y mantenimiento	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA
ASPECTOS TÉCNICOS			
Métodos de extracción del metano	La mina de Appin implementó un proyecto que emplea 54 motores de combustión interna de gases de escape de ventilación como aire de combustión a motores de energía eléctrica que produjeron 55,6 MW de electricidad para la mina (USEPA, 2010). En el proyecto se trabajó de la mano con el fabricante del RTO utilizado en la mina, aplicando cuatro RTO integrados en el ciclo de vapor de una central eléctrica que funciona con vapor, utilizando los RTO como hornos que pueden trabajar con el metano diluido en la Ventilación (UNECE, 2010). Para manejar las variaciones de concentración de metano en la ventilación cuando esta cae por debajo 0,9% se inyecta gas producto del drenaje antes del proceso de los ventiladores (UN-ECE, 2010). Al finalizar este proyecto demostración se llegó a la conclusión que la tecnología RTO se puede aplicar a una variedad de aplicaciones energéticas tales como calentamiento de agua o ambiente (aire), para secado o generación de energía (Somers and Schultz, 2008)		
ASPECTOS GEOLOGICOS			
La mina Appin, ubicada en Nueva Gales del Sur, Australia, en la cuenca de Sydney – Campo de carbón del sur (Illawarra Coal Measures). El campo de carbón del sur (Southern Coalfield) se encuentra dominado principalmente por un sinclinal mayor con orientación Norte-Sur, cuyos pliegues, en los extremos de la estructura tienen orientación al Noroeste (Doyle & Others, 1986). El Illawarra Coal Measures es la unidad pérmica más alta estratigráficamente ubicada al sur de la cuenca de Sydney. Suprayacen concordantemente sedimentos y depósitos volcánicos del Grupo Sholhaven e infrayacen sedimentos triásicos del Grupo Narrabeen. De los dos subgrupos que componen el Illawarra coal Measures, es el subgrupo Sydney el que contiene los recursos más importantes de carbón. El subgrupo Cumberland contiene recursos de carbón, pero no son económicamente importantes. El Illawarra Coal Measures contiene 5 mantos de carbón principales en el campo de carbón del sur (Southern Coalfield), en orden estratigráficamente ascendente: <ul style="list-style-type: none"> • Manto Woonona – Subgrupo Sydney, Formación Wilton: Areniscas, lodolitas y carbón. • Manto Tongarra (Manto minado actualmente) – Subgrupo Sydney. • Manto Wongawilli (Manto minado actualmente) – Subgrupo Sydney, Limolita y carbón. • Manto Balgownie (Manto minado en el pasado) – Subgrupo Sydney, Formación Eckersley: Limolita, arenisca, lodolita y carbón. • Manto Bulli (Manto minado actualmente) – Subgrupo Sydney. 			
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
ASPECTOS ECONÓMICOS			
La empresa Minera ha recibido importantes subvenciones gubernamentales para desarrollar el proyecto. Para el 2009 toda la instalación había generado más de 500.000 créditos de carbono y más de 80.00 MWh			

de electricidad.

El proyecto de Appin fue nombrado Mejor Proyecto de Gases de Efecto Invernadero en abril de 2005 por el Programa de Investigación de la Asociación Australiana del Carbón. (Somers and Schultz, 2008)

Figura 26. Esquema de reducción de VAM y generación de energía en Appin, Australia.



Fuente: UN-ECE, 2010

Figura 27. Planta de energía de Appin.



Fuente: USEPA, 2010.

Figura 28. Panorámica Estación Appin



Fuente: Energy Developments, Appin & Tower Project),
<http://www.energydevelopments.com.au/01/cms/details.asp?ID=97>

4.5.3. Proyecto Westcliff Ventilation Air Methane Project – WestVAMP

TIPO DE PROYECTO	Proyecto VAM que utiliza la energía liberada mientras disminuye las emisiones de metano para generar electricidad (Figura 29 y Figura 30).	Año	2006
Empresa	BHP Billiton Megtec		
Localización	parcialmente financiado por la Australian Greenhouse Office Wollongon, West Cliff al S de Sydney, Australia (Cuenca de Quesland).		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	no	
	Aprovechamiento	sí	
Concentración del gas	El sistema puede producir energía a partir de un combustible con un contenido de metano del 0,9%. Esta concentración se mantiene combinando gas de drenaje con el flujo de escape de ventilación de la mina (Somers and Schultz, 2008) .		

Acumulación de gas	Cada hora, la instalación utiliza el contenido de metano en 250,000 m ³ /h (150.000 scfm) de aire de ventilación		
Costos de inversión	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	Costos de operación y mantenimiento	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA
ASPECTOS TÉCNICOS			
Métodos de extracción del metano	Este proyecto puede convertir la reducción de emisiones procesando el VAM de sólo el 20% del aire de ventilación disponible en West Cliff. A 250.000 toneladas de CO ₂ e (equivalentes de CO ₂).		
ASPECTOS GEOLÓGICOS			
<p>El Proyecto West Cliff Ventilation Air Methane – WestVAM, se encuentra ubicado en Nueva Gales del Sur, Australia – Cuenca de Sydney, Campo de carbón del Sur (Southern coalfield). La cuenca de Sydney está compuesta por rocas sedimentarias relativamente plegadas de edades del pérmico (270 Ma) al Triásico (225 Ma).</p> <p>Los mantos económicamente importantes de carbón se presentan en sedimentos terrestres del Pérmico tardío del “Illawarra Coal Measures”. Los Illawarra Coal Measures suprayace concordantemente sedimentos marinos del Grupo Shoalhaven con un límite generalmente gradacional. Infrayace los sedimentos fluviales del Grupo Narrabeen y las areniscas de Hawkesbury.</p> <p>Al interior del Illawarra coal Measures se encuentran más de 11 mantos de Carbón de los cuales, los mantos Bulli y Wongawilli se encuentran actualmente minados. El manto Bulli se encuentra en la parte más alta, estratigráficamente hablando, y presente espesores entre los 1.8 m a los 2.1 m.</p>			
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación			
ASPECTOS ECONÓMICOS			
<p>Inicialmente se generan 6MW de energía eléctrica (Somers and Schultz, 2008). Una central eléctrica de VAM que trata el volumen total del aire de ventilación puede generar aproximadamente un millón de créditos de carbono La planta de energía de VAM de este proyecto para mediados del 2012, había generado más de 1.000.000 de créditos de carbono y más de 165 GWh de electricidad.</p> <p>El vapor tiene la misma calidad del que se utiliza en las centrales eléctricas tradicionales. Se utiliza con una turbina de vapor convencional de 6 megavatios, que genera electricidad que puede ser entregada a la red estatal o directamente a la mina. La mina usa 5.0 MW y el resto el mismo equipo.</p>			

Figura 29. Diseño proyecto WestVAMP

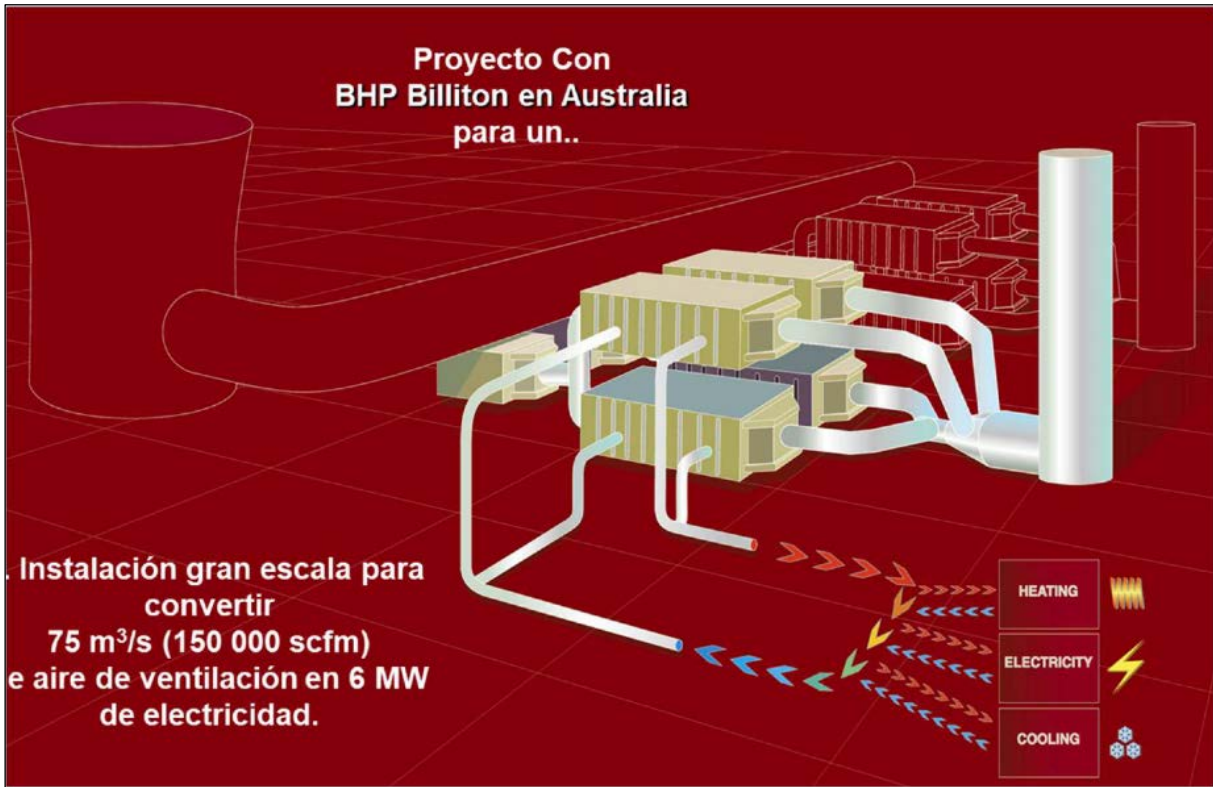


Figura 30. Instalaciones del proyecto WestVAMP



4.5.4. Proyecto Mina Windsor (Manto Pocahontas)

TIPO DE PROYECTO	Destrucción y Utilización de VAM en mina abandonada (Figura 31)		Año	2007
Empresa	Consolidation Coal Company, CONSOL Energy. (operando la demostración y seleccionó la mina Windsor como el sitio anfitrión) MEGTEC (tecnología y Soporte al Proyecto) EPA United States United States Department of Energy			
Localización	Poblado de West Liberty en el Estado de West Virginia, USA. Mina abandonada.			
TÉCNICA APLICADA				
Tipo de Utilización	Oxidación	si		
	Aprovechamiento			
	una vez que se determinó que la mina podría producir un suministro suficiente de metano escurrido a concentraciones adecuadas para soportar la auto oxidación Somers & Schultz (2008)			
Concentración del gas	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA			
Acumulación de gas	nivel experimental en escala comercial la oxidación de 20,000 m3/h de aire de ventilación			
Costos de inversión	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	Costos de operación y mantenimiento	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	
ASPECTOS TÉCNICOS				
Aspectos de seguridad	Debido a que es una mina abandonada, el sitio de Windsor no tiene trabajadores subterráneos y, por lo tanto, puede servir como un sitio ideal para probar la confiabilidad operacional y la seguridad de la tecnología. Somers & Schultz (2008)			
Sistemas de ventilación	no hay ventilador de ventilación en su lugar, el metano drenado se mezcla con aire para obtener una mezcla de metano-aire que es típica de VAM (es decir, VAM simulado) Somers & Schultz (2008)			
Métodos de extracción del metano				
DESTRUCCIÓN DEL METANO				
Concentración de Metano necesaria	0.9% (Cluff et al 2015). La concentración se mantiene mezclando con el metano del drenaje.	Eficiencia de destrucción del Metano	70 m3 de metano (Cluff et al 2015)	
GENERACIÓN DE ENERGÍA				
Tipo de generación	Los 6 MWe generados son utilizados por la mina de carbón West Cliff. El calor recogido de las unidades VOCSIDIZER © se utiliza para proporcionar vapor sobrecalentado a las turbinas de vapor convencionales que producen energía eléctrica Schultz and Somers (2010). (Cluff et al 2015)			
ASPECTOS ECONÓMICOS				

Figura 31. Proyecto VAM en mina Windsor,



Fuente: Somers & Schultz (2008)

4.5.5. Proyecto Zhengzhou

TIPO DE PROYECTO	Oxidación VAM	Año	2008
Empresa	Grupo Minero ZhengZhou MEGTEC		
Localización	República Popular de China provincia de Henan,		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	si	
	Aprovechamiento		
	Reducción de emisiones de VAM y producción de agua caliente a partir de la energía liberada en la oxidación del VAM (Figura 32)		
Concentración del gas	Varía entre 0.3 y 0.7% (UN-ECE, 2010)		
Acumulación de gas	Flujo de 375Nm ³ /s		
Costos de inversión	71.2939 RMB o Yuanes (UNFCCC ref. 1603)	Costos de operación y mantenimiento	Relación costo mantenimiento 9.59%
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos			
Métodos de explotación			
Producción	1.5 Mtpa, alrededor de 12 millones de m ³ anuales de metano (UN-ECE, 2010)		
Aspectos de seguridad	Se incluye una longitud suficiente del conducto como medida de seguridad en caso de detectar concentraciones elevadas para poder manipular una compuerta de bypass (UN-ECE, 2010)		
Sistemas de ventilación	La conexión con el ventilador de la mina es indirecta de modo que, si se interrumpe el procesamiento del VAM, todo el aire de ventilación se		

	emite a la atmosfera. (UN-ECE, 2010)		
Métodos de extracción del metano	Emisiones de gas que corresponden al 56% producido por el Ventilación y 44% producido por CMM (UN-ECE, 2010).		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	Oxidación sin llama		
Fabricante	MEGTEC - Ecocarbone		
Esquema del sistema	El proyecto fue diseñado como demostración comercial, pero la tecnología específica VAM utilizada, es modular con la capacidad de agrupar unidades como instalación de operación modular, que permite desplegar las unidades VAM a otras minas (UN-ECE, 2010)		
Capacidad de tratamiento	1 X 62.500 Nm ³ /hr (Somers & Burklin, 2012) (UN-ECE, 2011)		
Concentración de Metano necesaria	El RTO funciona desde concentraciones de 0.2% (UN-ECE, 2010)	Eficiencia de destrucción del Metano	Destruye el 17%
Reducción de Emisiones	Entre 20.000 y 40.000 tCO ₂ por año (UNECE, 2010). 382.000 MTCO ₂ E (UNFCCC, 2008)		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	8MW mediante 7 oxidadores de VAM (UNFCCC ref. 1603) Una cantidad significativa de energía desde el interior del RTO se puede recuperar la instalación en la mina está generando agua caliente para las duchas de los mineros y para la calefacción de los edificios cercanos. La recuperación de calor se logra mediante la aplicación de un intercambiador de calor de aire-agua instalado entre el RTO y su tubo de escape, recuperando la energía en el aire de escape caliente (UN-ECE, 2010)		
ASPECTOS ECONÓMICOS			
A principios de 2010, la ONU aprobó formalmente los primeros CERs mundiales basados en un proyecto VAM (créditos de carbono relacionados con el Protocolo de Kyoto).			

Figura 32. Montaje para VAM en proyecto Zhengzhou (UN-ECE, 2010)



4.5.6. Proyecto Mine JWR-7 y 4, Cuenca Black Warrior

TIPO DE PROYECTO	Proyecto demostración oxidación VAM (Figura 33)		Año	2009
Empresa	Jim Walter Resources Biothermica VAMOX Aprobado por U.S. Mine Safety & Health Administration			
Localización	Brookwood Alabama. USA (Cuenca Black Warrior), Mina 7 JWR			
TÉCNICA APLICADA				
Tipo de Utilización	Oxidación	SI		
	Aprovechamiento	NO		
	Solo oxidación (es decir, no incluye captura y uso de energía) (Somers & Schultz, 2010) es el primero en operar en una mina activa en América (USEPA, 2010)			
Concentración del gas	0.93% 1.11%. Flujo de aire entre 341.852 y 932.350 cfm (USEPA, 2010)			
Acumulación de gas	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA			
Costos de inversión	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	Costos de operación y mantenimiento	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	
	ASPECTOS TÉCNICOS			
ASPECTOS GEOLOGICOS				
<p>La cuenca Black Warrior es una cuenca de Antepais que abraza cerca de 60 mil Kilómetros Cuadrados del Noroeste y centro de Alabama. Los depósitos de carbón del norte de Alabama se encuentran divididos en 3 campos de Carbón: Black Warrior, Cahaba y Coosa, de los cuales Black Warrior es el más grande en tamaño y productividad. Hay 7 grupos de carbón en la cuenca Black Warrior de los cuales el más importante es el Grupo Mary Lee. El grupo Mary Lee contiene 5 Mantos de Carbón, entre ellos el manto Mary Lee y Blue Creek, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en la región.</p> <p>Históricamente las reservas de Carbón y el recurso potencial de la Mina No. 4 está confinado a los mantos Mary Lee y Blue creek, sin embargo, la mina No. 7 esta confinada a la explotación el manto Blue Creek.</p>				
DESTRUCCIÓN DEL METANO				
Tecnología utilizada	unidad VAMOX® (USEPA, 2010)			
Fabricante	Biothermica (USEPA, 2010)			
Capacidad de tratamiento	1 X 50.000 Nm ³ /hr (Somers & Burklin, 2012) (UN-ECE, 2011)			
Concentración de Metano necesaria	Oxida 850 m ³ por minuto de VAM al 0.9 por ciento (USEPA, 2010)	Eficiencia de destrucción del Metano		
	GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación				
ASPECTOS ECONÓMICOS				
<p>Registrado en Junio 2010 con Climate Action Reserve de California. Es la primera instalación de oxidación VAM que recibe la aprobación de la Administración de Seguridad y Salud de Minas de EE. UU. Debido a que el proyecto es solo oxidación, el proyecto planea obtener ingresos de la venta de ~ 35,000 toneladas de dióxido de carbono equivalente por año durante su vida útil planificada de cuatro años de duración (USEPA, 2010)</p>				

Figura 33. Proyecto VAM en Brookwood, Alabama



Fuente (USEPA, 2010)

4.5.7. Proyecto Pingmei

TIPO DE PROYECTO	Oxidante VAM	Año	2010
Empresa	Shengdong		
Localización	Pingdingshan Coal Group, Mine 4, Henan.		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	si	
	Aprovechamiento		
	Recuperación de energía (es decir, producción de vapor) (USEPA, 2010)		
Concentración del gas	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Acumulación de gas	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Costos de inversión	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA	Costos de operación y mantenimiento	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA
	DESTRUCCIÓN DEL METANO		
Tecnología utilizada	oxidante VAM		
Fabricante	El grupo Shandong de China (USEPA, 2010)		
Esquema del sistema			
Capacidad de tratamiento	1 x 60,000 VAM Flow Nm ³ / hr. (Somers & Burklin, 2012) (UN-ECE, 2011)		

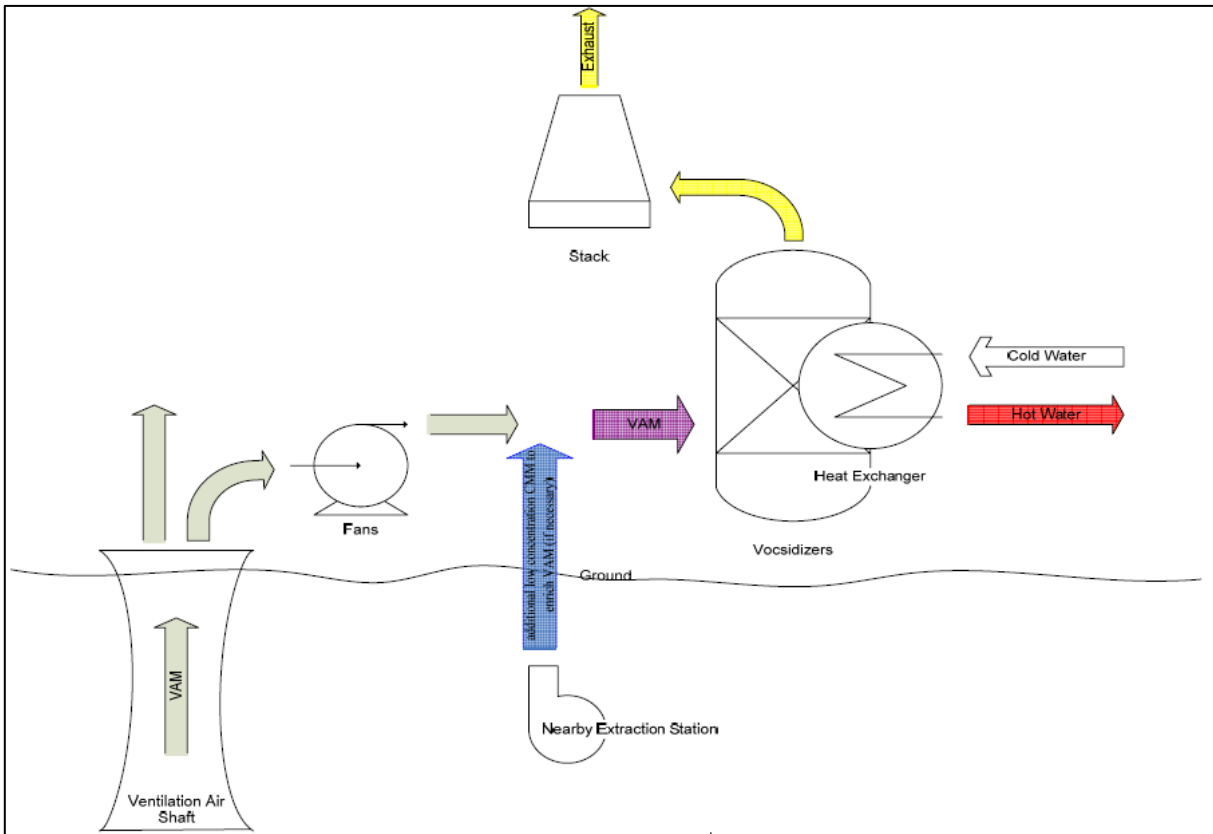
GENERACIÓN DE ENERGÍA	
Tipo de generación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA
ASPECTOS ECONÓMICOS	

4.5.8. Proyecto Chongqing Datong Coalmine

TIPO DE PROYECTO	Destrucción y utilización del VAM de la mina de carbón de Chongqing	Año	2006
Empresa	Chongqing Songzao C&E Co. Ltd., (People's Republic of China) AES Carbon Exchange, Ltd(The Netherlands)		
Localización	People's Republic of China / Chongqing Municipality / Datong Town, Qijiang County		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	SI	
	Aprovechamiento	SI	
Concentración del gas	Concentración Promedio de 0.5% en el aire de ventilación (Figura 34)		
Acumulación de gas	45.2378 millones de metros cúbicos de metano se ventean a la atmósfera en 2007		
Costos de inversión		Costos de operación y mantenimiento	
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	El distrito minero de Carbón de Chongquin se encuentra localizado al norte de la plataforma Yangtzi las cual incluye estratos de carbón del Pérmico Tardío y Triásico Tardío. Las rocas del Pérmico Tardío del área de Chongquin fueron formadas como parte del mar epicontinental del Sur de China y están localizadas en la parte noroeste de esta cuenca marina epicontinental. Las rocas carboníferas del Triásico Tardío son formadas como parte interior del lago Sichuan y se encuentra ubicada en la parte oriental de la cuenca.		
Métodos de explotación			
Producción			
Aspectos de seguridad	Por razones de seguridad, se utiliza un gran volumen de aire para diluir y ventilar el metano contenido en el aire de las minas de carbón		
Sistemas de ventilación			
Métodos de extracción del metano			
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	Se pretende destruir el metano contenido en el aire de ventilación (VAM) con tecnología de oxidación sin llama (conocida como Vocsidizer). Sistema de intercambio térmico y sistema de apoyo.		
Fabricante	MEGTEC Systems Inc.		
Esquema del sistema	Se instalarán tres juegos de sistemas de oxidación sin llama que constan de seis Vocdisificadores, así como sistemas de apoyo para captar el aire de ventilación del sistema de ventilación existente. El gas pasa a través de una base cerámica dentro del Vocsidizer, y se calienta gradualmente hasta que el metano se oxida, produciendo CO2 y energía térmica.		
Capacidad de tratamiento	Cada Vocsidizer está diseñado para tratar 62,500Nm3 de aire de ventilación por hora. Con unas horas de utilización anual previstas de 8.500 horas, se espera que cada año se destruyan más de diez mil toneladas de metano. El sistema permite. La CMM de alta concentración guardada se suministrará a través de la tubería existente a otros usuarios finales. De acuerdo con el plan general de utilización de CMM de alta concentración de la mina de carbón, cualquier cantidad de CMM de alta concentración que exceda el suministro del oleoducto será embotellada y suministrada a otros usuarios finales. Por lo tanto, todas las CMM de alta		

	concentración ahorradas por el proyecto propuesto serán destruidas/utilizadas y no habrá ventilación adicional.		
Concentración de Metano necesaria	y una concentración media de metano estimada del 0,5%, con mínimo 0.3% y máximo 0.7%	Eficiencia de destrucción del Metano	97%
Reducción de Emisiones	1.287.167 tCO ₂ e en los primeros 7 años.		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	El proyecto propuesto prevé utilizar la energía térmica generada por el proceso de oxidación del VAM para producir agua caliente que se suministrará a la sala de baños públicos de la mina y se espera que se produzcan 22.000 toneladas de agua caliente al año una vez que se ponga en funcionamiento el sistema de distribución		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

Figura 34. Carta de Flujo del proyecto VAM de Oxidación sin llama.



4.5.9. Proyecto Wantian Coal Mine

TIPO DE PROYECTO	CMM de la mina de carbón de Wantian y el proyecto de utilización de VAM	Año	2006
-------------------------	---	------------	------

Empresa	Liupanshui City Yuni Village Pan country Yuni, village. Wantian coal mine.(P.R. China) Renaissance Carbon Investment LTD. (United Kingdom of Great Britain)		
Localización	República Popular China / Provincia de Guizhou / Ciudad de Liupanshui City / Condado de Pan /Pueblo de Yuni,		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	Si del VAM	
	Aprovechamiento	SI del CMM.	
	El proyecto propuesto es invertido por la ciudad de Liupanshui, en el condado de Pan del condado de Yuni, en la mina de carbón Wantian, que utilizará el metano de la mina de carbón (CMM) para la generación de energía y destruirá el metano contenido en el aire de ventilación (VAM) con la tecnología de oxidantes VAM		
Concentración del gas	La concentración de CMM es de alrededor del 19%, y la concentración media de VAM es del 0,35%		
Acumulación de gas	recurso de metano de la mina de carbón es de aproximadamente 478,94 millones de m3 en total		
Costos de inversión		Costos de operación y mantenimiento	
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos			
Métodos de explotación			
Producción	0,45 millones de toneladas por año y el recurso de metano de la mina de carbón es de aproximadamente 478,94 millones de m3 en total		
Aspectos de seguridad	<p>Antes de la implementación del proyecto propuesto, tanto el sistema de drenaje CMM como el ventilador VAM se aplicaron en la mina de carbón de Wantian para mantener los requisitos de seguridad en la operación de la mina de carbón. Debido a que la concentración de metano de CMM en este proyecto se acerca a los niveles de concentración explosiva, es necesario instalar dispositivos antiexplosivos en el gasoducto y la central eléctrica de CMM. También necesita construir la central eléctrica adyacente a la estación de drenaje para acortar la longitud del oleoducto. Hay tres dispositivos de protección instalados en la estación de drenaje, gasoductos y en las unidades de generación de energía CMM. Las características del sistema son la introducción del sistema de transmisión de niebla, además de los dispositivos normales a prueba de explosión. Los atomizadores en forma de anillo se instalan en el gasoducto de CMM hasta el punto de mezcla y rocían constantemente niebla desde los generadores de neblina. Llenando constantemente las tuberías con niebla, se pueden evitar incendios estáticos.</p> <p>Este modelo de generador Serie 600GF1, contiene un dispositivo antiexplosión contra el metano y tecnologías para quemar metano de baja concentración. El generador fue aprobado por la Administración Estatal de Seguridad Laboral de China en julio de 2005. En diciembre de 2005 se aprobó también un sistema de transporte de metano de baja concentración. La generación de energía de CMM de baja concentración se ha convertido en un proceso seguro y sólido desde entonces.</p>		
Sistemas de ventilación	Ventiladores potentes que soplan grandes volúmenes de aire a través de la mina, diluyendo así la CMM a concentraciones más seguras y retirándola de la mina como metano del aire de ventilación.		
Métodos de extracción del metano	Antes del proyecto, todas las acumulaciones de metano producto de CMM y VAM se ventean a la atmósfera.		

DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	Utilizará el metano de la mina de carbón (CMM) para la generación de energía y destruirá el metano contenido en el aire de ventilación (VAM) con la tecnología de oxidantes VAM. Cuando los motores de gas queman metano de CMM como combustible para la generación de energía, las emisiones de metano se reducirán al mismo tiempo. La energía generada por la CMM se suministrará a la mina de carbón de Wantian para la producción de carbón, lo que puede reducir la electricidad equivalente generada por las centrales eléctricas de combustibles fósiles de China Southern Power Grid. Entonces, las emisiones de CO2 serán reducidas por el proyecto propuesto		
Fabricante	Shengli Oilfield Shengli Engine Machinery Group Co. Como el generador que podría generar electricidad de manera segura en tales condiciones limitándose a la Serie 600GF1		
Esquema del sistema	El proyecto propuesto reducirá las emisiones de CH4 y CO2 de los oxidantes VAM y motores de gas. Los oxidantes VAM producirán una reacción oxidante con el metano contenido en el VAM para que el metano sea destruido		
Capacidad de tratamiento	Se instalarán tres conjuntos de Oxidantes VAM con una capacidad de tratamiento de 60.000Nm3/h, cuyas horas de operación anuales son de 8.000 horas por cada uno de ellos.		
Concentración de Metano necesaria	En CMM la concentraciones de metano superiores o iguales a 8%. Para VAM los límites permisibles son 0.3 y 1%	Eficiencia de destrucción del Metano	≥97%
Reducción de Emisiones	Se estima que 1.514.380 tCO ₂ e se reducirán en un total de 10 años.		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	Una potencia total instalada de 3,6 MW de unidades de generación de electricidad con seis grupos de motores de gas de 600kW. Las horas de funcionamiento anuales de los motores de gas son de 6.800 horas que pueden generar 19.584 MWh de potencia cada año. El calor residual de los gases de combustión después de quemar la CMM en los motores de gas se recuperará mediante calderas de calor residual. Las calderas de recuperación de calor residual se utilizarán para proporcionar calor a los edificios en el emplazamiento del proyecto sustituyendo algunas de las calderas de carbón existentes, aunque no se reclamarán RCE para el carbón desplazado como resultado de esta parte del proyecto.		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

4.5.10. Proyecto Jiada Coal Mine

TIPO DE PROYECTO	CMM de la mina de carbón de Jiada y proyecto de utilización del VAM	Año	2006
Empresa	Fuyuan Country Mohong Village Jiada Coal Mine.(P.R. China) Renaissance Carbon Investment LTD. (United Kingdom of Great Britain)		
Localización	República Popular China / Provincia de Yunna / Ciudad de Qujing // Condado de Fuyuan /Pueblo de Mohong.		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	NO	
	Aprovechamiento	SI	

	El proyecto propuesto utilizará el metano de la mina de carbón (CMM) para la generación de energía y destruirá el metano contenido en el aire de ventilación (VAM) con la tecnología de oxidantes VAM		
Concentración del gas	La concentración de CMM es de alrededor del 20%, y la concentración media de VAM es del 0,35%.		
Acumulación de gas	el recurso de metano de la mina de carbón es de unos 401,69 millones de m ³		
Costos de inversión	45.53 Million RMB	Costos de operación y mantenimiento	4.82 Million RMB
Inversión en construcción	44.23 Million RMB		
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Métodos de explotación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Producción	Producción de la mina de carbón de Jiada es de 0,3 millones de toneladas por año y el recurso de carbón es de unos 5,89 millones de toneladas. vida útil de la operación de diseño para la explotación del carbón es de 19,6 años		
Aspectos de seguridad	<p>Antes de la implementación del proyecto propuesto, tanto el sistema de drenaje de la CMM como el ventilador VAM se aplicaron en la mina de carbón de Jiada para mantener los requisitos de seguridad en la operación de la mina de carbón.</p> <p>Debido a que la concentración de metano de la CMM en este proyecto se acerca a los niveles de concentración explosiva, es necesario instalar dispositivos antiexplosivos en el gasoducto y la central eléctrica de la CMM. También necesita construir la central eléctrica adyacente a la estación de drenaje para acortar la longitud del oleoducto. Hay tres dispositivos de protección instalados en la estación de drenaje, gasoductos y en las unidades de generación de energía CMM. Las características del sistema son la introducción del sistema de transmisión de niebla, además de los dispositivos normales a prueba de explosión. Los atomizadores en forma de anillo se instalan en el gasoducto de la CMM hasta el punto de mezcla y rocían constantemente niebla desde los generadores de neblina. Llenando constantemente las tuberías con niebla, se pueden evitar incendios estáticos.</p>		
Sistemas de ventilación	Ventiladores potentes que soplan grandes volúmenes de aire a través de la mina, diluyendo así la CMM a concentraciones más seguras y retirándola de la mina como metano del aire de ventilación. Ventilador de 2*55 kW		
Métodos de extracción del metano	Antes de la implementación del proyecto, todo metano de CMM y VAM se ventean a la atmósfera.		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	oxidante VAM60.00-I		
Fabricante	Shengli Oilfield Shengli Engine Machinery Group Co.		
Esquema del sistema	El proyecto propuesto reducirá las emisiones de CH ₄ y CO ₂ mediante la oxidación del VAM y motores de gas. La quema del VAM producirá una reacción oxidante con el metano contenido para que el metano sea destruido. Cuando los motores de gas queman metano de CMM como combustible para la generación de energía, las emisiones de metano se reducirán al mismo tiempo. La energía generada por la CMM se suministrará a la mina de carbón de Jiada para la producción de carbón, lo que puede reducir la electricidad equivalente generada por las centrales eléctricas de combustibles fósiles de China Southern Power Grid. Entonces, las emisiones de CO ₂ se reducirán en el proyecto propuesto.		
Capacidad de tratamiento	Se instalarán tres oxidantes VAM en el sitio del proyecto. Cada oxidante VAM puede procesar hasta 60.000 Nm ³ de VAM por hora		
Concentración de	Concentración media del	Eficiencia de destrucción	El metano del VAM

Metano necesaria	0,35%. Con un rango entre 0.3% y 1%	del Metano	se destruirá >=97% y el del CMM será liberado a la atmosfera.
Reducción de Emisiones	Se estima que 1.353.860 tCO ₂ e se reducirán en un total de 10 años de periodo de acreditación		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	<p>Los principales componentes de la tecnología de reducción de emisiones son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Una capacidad total instalada de 3MW de generación eléctrica con cinco grupos de motores a gas de 600kW. Las horas de funcionamiento anuales de los motores de gas son de 6.800 horas, que pueden generar 16.320 MWh de potencia cada año. El calor residual de los gases de combustión después de quemar la CMM en los motores de gas se recuperará mediante calderas de calor residual. Las reducciones de emisiones debidas a las calderas de calor residual no serán reclamadas dentro del proyecto propuesto; Se instalarán tres conjuntos de oxidantes VAM con una capacidad de tratamiento de 60.000Nm³/h. Las horas operativas anuales son de 8.000 horas por cada una de ellas. 		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

4.5.11. Proyecto Hancheng

TIPO DE PROYECTO	Proyecto de destrucción del VAM de Hancheng	Año	2006
Empresa	Shaanxi Shenggui Clear Carbon Environment Science & Technology Co. Ltd. (P.R. China) GenPower Carbon Solutions, L.P. (United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland)		
Localización	República Popular China / Provincia de Shaanxi/ Ciudad de Hancheng / Condado de Weinan /Pueblo de Ma.		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	SI del VAM y del CMM	
	Aprovechamiento	NO	
	La actividad del proyecto se propone para la recuperación del flujo de VAM combinado con CMM de baja concentración (<30%) para su destrucción, sin generación de energía o calor, que se localizará en Hancheng Panlong Coalmine y Xinglong Coalmine).		
Concentración del gas	Para VAM la minas Panlong tiene una concentración de 0.27% y un caudal de 6158m ³ /min, y la minas xinlong tiene una concentración de 0.16% y un caudal de 7779m ³ /min		
Acumulación de gas	60,000 m ³ /h		
Costos de inversión	CNY 12,000,000 316 million yuan	Costos de operación y mantenimiento	30.856 millón yuan
Inversión en construcción	300 million yuan		
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	Hancheng está situado en el sureste de la cuenca de Erdos, el borde este del yacimiento carbonifero de Weibei. El yacimiento carbonifero de Weibei es vecino del sistema de graben de Weihe en el sur, colinda con el cinturón de pliegue este-oeste de Qinling, en el este conecta el		

	cinturón de pliegue sur-norte de Lvliang a través del sistema NENNE Fenhe, y en el oeste se une con el cinturón de falla de empuje del borde oeste de la cuenca de Erdos. Como resultado de la tectónica regional, la cuenca se encuentra dividida en la zona sur y la zona norte por el cinturón plegable de Wenjialing, siendo la tectónica de compresión evidente en el norte, y la tensión dominante en el sur. La complejidad tectónica resulta en la heterogeneidad vertical y lateral de la estructura del cuerpo de carbón en el mismo lecho de carbón.		
Métodos de explotación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Producción	Panlong tiene reservas recuperables de 12,40 millones de toneladas y una producción anual de carbón de 300.000 toneladas. Xinglong tiene reservas industriales de 66,44 millones de toneladas, con reservas recuperables de 13,87 millones de toneladas		
Aspectos de seguridad	Ambas minas están equipadas con equipos para la extracción de CMM en las estaciones de extracción en superficie y VAM en los pozos de ventilación, previo al inicio de la actividad del proyecto		
Sistemas de ventilación	El metano liberado de los frentes de extracción del carbón, CMM, puede ser diluido y removido por grandes sistemas de ventilación diseñados para mover grandes cantidades de aire a través de la mina. Estos sistemas diluyen el metano dentro de la mina a concentraciones por debajo del rango explosivo de 5% - 15%, con un objetivo de obtener concentraciones de metano por debajo del 1%		
Métodos de extracción del metano	Durante la extracción de carbón, el metano es emitido por el sistema de ventilación de la mina como Metano del Aire de Ventilación (VAM) o por el drenaje de gas como Metano de la Mina de Carbón (CMM)		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	El proyecto recuperará los flujos CMM y VAM combinados y los destruirá mediante la utilización de tecnología de oxidación sin llama. unidad VAM de oxidación sin llama VAM60-I		
Fabricante	Shengli Oilfield Shengli Power Machinery Co. Ltd.		
Esquema del sistema	El proyecto recuperará las corrientes combinadas de CMM y VAM que actualmente se están extrayendo de la producción minera subterránea a través de corrientes de ventilación separadas en el escenario de línea de base (la CMM extraída por separado se combina con la corriente VAM en el sistema de mezcla de metano, situado después del ventilador axial y antes de la unidad de oxidación VAM que se instalará por la actividad del proyecto) y se destruirá mediante la utilización de tecnología de oxidación sin llama, diseñada y fabricada por Shengli Oil.		
Capacidad de tratamiento	60,000 m3/h		
Concentración de Metano necesaria	0.25% - 1.2%	Eficiencia de destrucción del Metano	≥ 97%
Reducción de Emisiones	Se estima una reducción en 7 años de 1,746,024 (tonnes of CO2e)		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	Requisito de potencia calorífica de arranque ≤ 380 kW		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

Figura 35. Oxidante sin llama VAM



4.5.12. Proyecto Jizhong Energy Zhangjiakou Mining Group Co., Ltd. Xuandong Coalmine

TIPO DE PROYECTO	Oxidación y utilización de la mina de carbón de Xuandong VAM	Año	2006
Empresa	Jizhong Energy Zhangjiakou Mining Group Co. People's Republic of China, Ltd. Carbon Capital Management, Inc. (Japan)		
Localización	República Popular China / Provincia de Hebei / Ciudad de Zhangjiakou / Condado de Xuanhua /Pueblo de Gujiaying.		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	SI	
	Aprovechamiento	SI	
	El proyecto tiene como objetivo principal reducir las emisiones de GEI mediante la destrucción del metano contenido en los ductos de ventilación atmosférica (VAM) emitido por la mina de carbón de Xuandong utilizando la tecnología de oxidación sin llama recientemente desarrollada		
Concentración del gas	0.4% Dos oxidantes VAM: 0,8%. Nueve oxidantes VAM: 0,4%. El metano de la mina de carbón (CMM) con una concentración de <8% (normalmente 5%) se agregará al VAM para enriquecer su flujo entrando en dos oxidantes VAM con una concentración de metano de hasta 0.8% para aumentar la eficiencia de recuperación de energía térmica para generar vapor sobrecalentado, y luego para generar electricidad con un generador de turbina de vapor de 1.5MW. Otros nueve oxidantes VAM sólo destruirán el metano		

	contenido en el VAM, normalmente el 0,4% de la concentración de metano sin recuperación de energía		
Acumulación de gas	24,960,000 m ³ /a		
Costos de inversión	68.2517 Million RMB	Costos de operación y mantenimiento	10.6971 Million RMB/year
Inversión en construcción	66.4723 Million RMB		
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	<p>La mina Xuangdong de carbón explota el manto de carbón No. III, el cual varía su espesor entre 2.1 m en el Noroeste a 4.26 m en el Sureste a una profundidad aproximada de 869.68 m y 936.7 m. El manto de Carbón buza en dirección Sureste con cambios nominales de aproximadamente 5 grados.</p> <p>A continuación, se observa la secuencia geológica generalizada en la Mina ascendiendo estratigráficamente e incluyendo el espesor acumulado de la secuencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manto de Carbón No. III – Espesor Acumulado: 885m • Brechas / Areniscas - Espesor Acumulado: 880m • Tobas - Espesor Acumulado: 789m • Brecha Andesítica volcánica - Espesor Acumulado: 744m • Arenisca Limosa / Toba - Espesor Acumulado: 687m • Brecha Inter clástica / Andesítica - Espesor Acumulado: 490m • Lava Andesítica - Espesor Acumulado: 330m • Loess - Espesor Acumulado: 165m • Aluvión - Espesor Acumulado: 80m. 		
Métodos de explotación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Producción	1,5 Mt/año.		
Aspectos de seguridad	Debido a que la concentración de metano de CMM añadida al VAM en el proyecto es cercana a los niveles de concentración explosiva, se debe instalar un sistema de transporte de seguridad CMM antiexplosión entre la estación de extracción de gas CMM y la unidad mezcladora de CMM a la corriente VAM. La Figura 36 muestra el diagrama esquemático del sistema de transporte de CMM. Las características del sistema son la introducción del sistema de transmisión de niebla, además de los dispositivos normales a prueba de explosión. Los atomizadores en forma de anillo se instalan en el gasoducto de CMM hasta el punto de mezcla y rocían constantemente niebla desde los generadores de neblina. Llenando constantemente las tuberías con niebla, se pueden evitar los incendios estáticos.		
Sistemas de ventilación	La Figura 37 muestra la unidad de mezcla de CMM a la corriente VAM. Se utilizará un sistema de mezcla de CMM para añadir CMM al flujo de VAM que se envía a los oxidantes VAM. La unidad consiste en equipos de monitoreo (concentración de metano y flujo) para corriente CMM y VAM, analizadores de datos y unidades de control de válvulas. Basado en los datos de monitoreo, el control de flujo de la línea agregada de CMM se realiza de manera que la concentración predeterminada de metano del flujo VAM se envía automáticamente al oxidante VAM. La CMM será transportada por la tubería con sistema de transmisión de niebla a la unidad mezcladora VAM. Varias instalaciones de seguridad también están equipadas en caso de emergencia.		
Métodos de extracción del metano	El proyecto no plantea extracción de CBM Ningún metano será destruido por la quema en el proyecto. La actividad del proyecto consiste en la oxidación sin llama. Una parte de VAM y CMM es capturada y destruida para generar electricidad por dos oxidantes VAM; los otros nueve oxidantes VAM destruyen VAM sólo sin recuperación de energía. La proporción restante de metano se ventilará por razones de seguridad.		

	Este proyecto utilizará una pequeña cantidad de CMM de baja concentración (<8%, normalmente 5%) para enriquecer VAM. Todos los CMM capturados serán usados o destruidos, y no serán ventilados. El proyecto se implementa en una mina de carbón en funcionamiento. Todo el metano capturado / utilizado en el proyecto depende de la actividad minera. Ninguna extracción de CBM está involucrada en el proyecto.		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	VAM60-IV (2 juegos, para electricidad) VAM60-I (9 juegos, sin recuperación de energía)		
Fabricante	Shengli Oil Field Shengli Power Machinery Group Co., Ltd		
Esquema del sistema	El esquema del proyecto Figura 38, el cual comprenden todos los equipos instalados y utilizados como parte de la actividad del proyecto para la captura de VAM y CMM en el emplazamiento del proyecto, las instalaciones de oxidación sin llama, las instalaciones de generación de energía, el sistema de transporte de seguridad de CMM, la unidad mezcladora de CMM al flujo de VAM y todas las centrales eléctricas conectadas físicamente al NCPG.		
Capacidad de tratamiento	Cuando el proyecto está completamente operativo, 660.000 Nm3/hora de VAM (incluyendo CMM añadida) es oxidado por once oxidantes VAM		
Concentración de Metano necesaria	0.25% -1%	Eficiencia de destrucción del Metano	≥ 97%
Reducción de Emisiones	En el periodo de acreditación de 10 años, las reducciones anuales de emisiones estimadas de este proyecto serían de 311.723 tCO2e		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	El proyecto tiene una capacidad instalada de 1,5 MW, de la cual la generación eléctrica es igual a una central eléctrica de carbón con una capacidad de aproximadamente 1,6 MW. De acuerdo con la regulación de potencia de China, la construcción de centrales de carbón con una capacidad de 135MW o menos está prohibido en el área de cobertura de la red nacional. Por lo tanto, la opción 2 en el paso 1c, la construcción de una central eléctrica de carbón con una capacidad de aproximadamente 1,6 MW, no cumple con los requisitos reglamentarios, y luego se elimina.		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

Figura 36. Sistema de seguridad para el transporte de CMM.

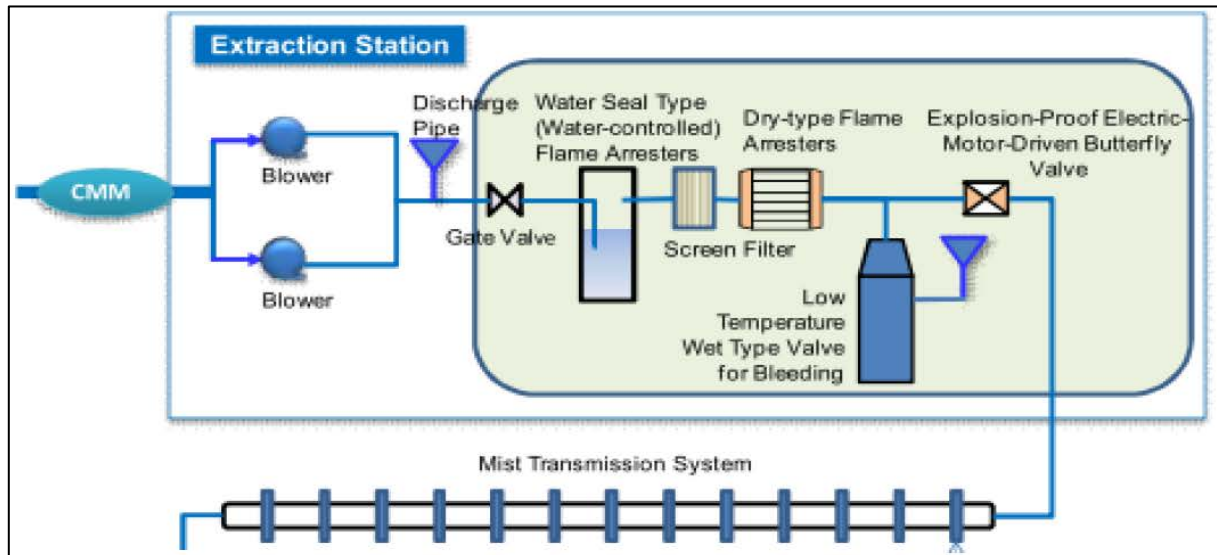


Figura 37. Unidades de mezcla de CMM con el sistema de corriente y seguridad VAM

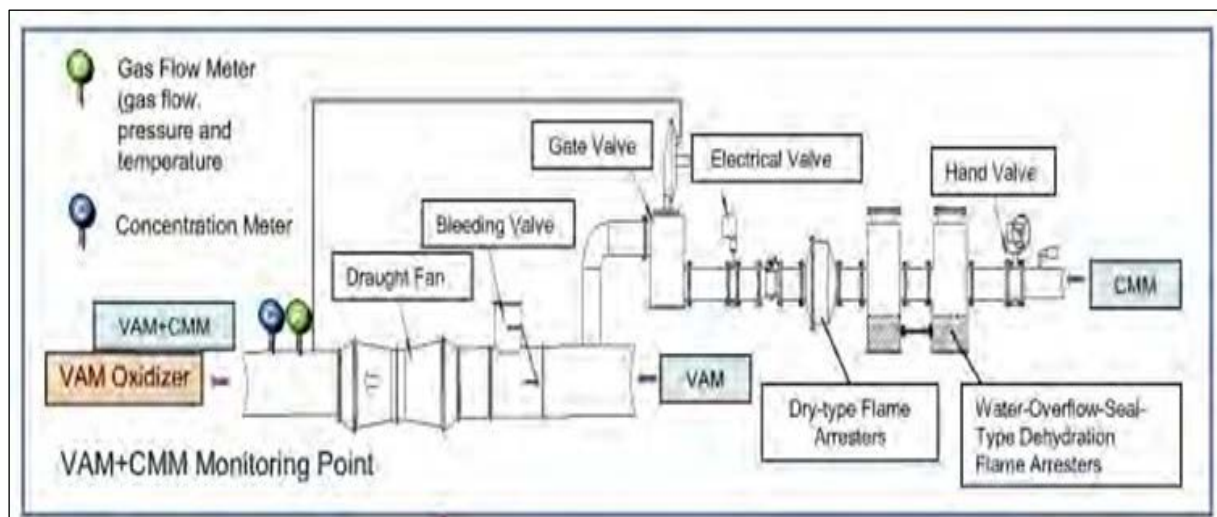
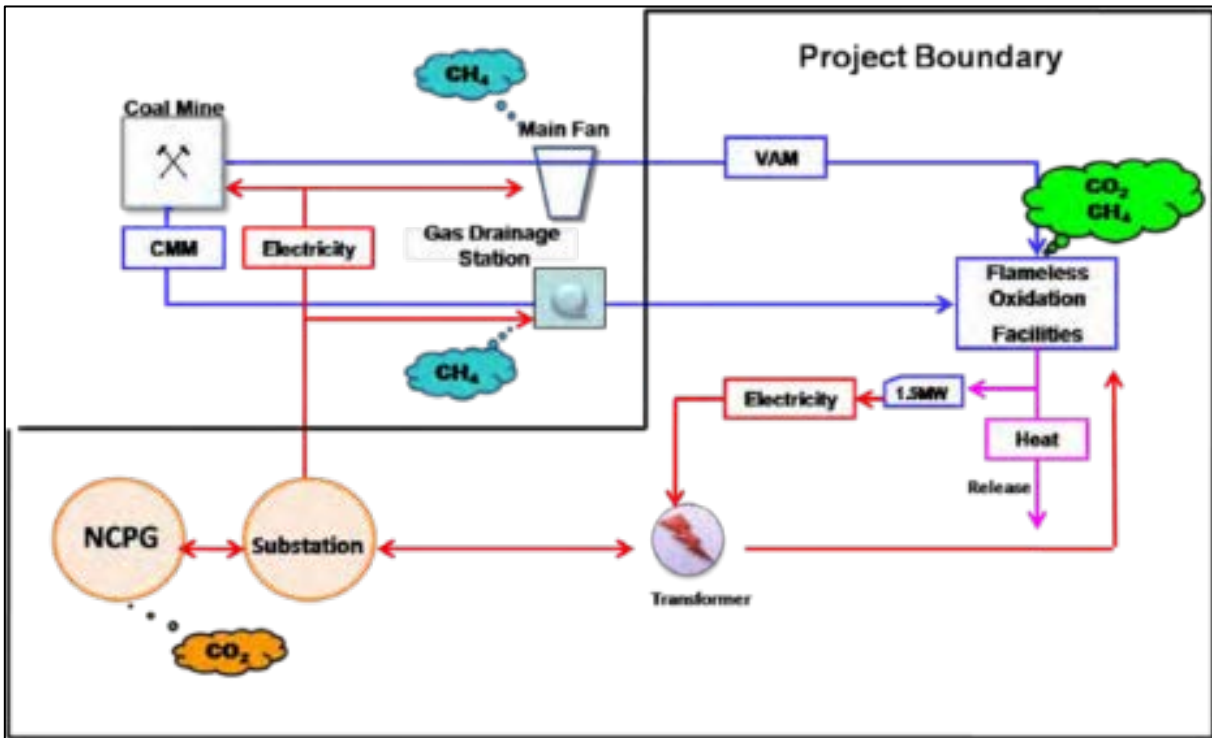


Figura 38. Límite del proyecto

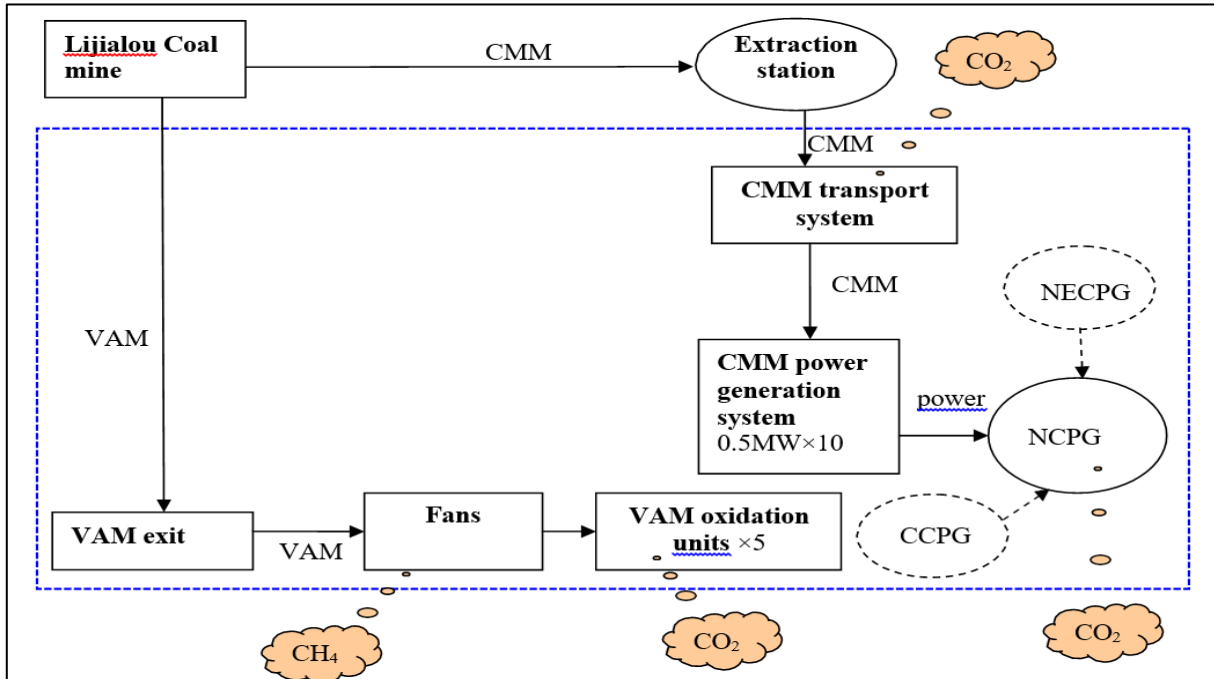


4.5.13. Proyecto Comprehensive Utilization Project of Taiyuan, Shanxi Province

TIPO DE PROYECTO	Utilización integral del metano (CMM) y del aire de ventilación (VAM) de la mina de carbón de Taiyuan	Año	
Empresa	Shanxi Yaoyuan Coal Mine Methane Developing Co., Ltd (project owner) (People's Republic of China)		
Localización	República Popular China / Provincia de / Ciudad de Taiyuan / Condado de Qingxu /Pueblo de Mayu.		
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	No	
	Aprovechamiento	Si	
	El objetivo principal del proyecto propuesto es capturar y recuperar el gas metano de la mina de carbón (CMM) y el metano del aire de ventilación (VAM) que actualmente se ventila a la atmósfera mediante la instalación de un sistema de transporte de gas, un sistema de utilización de CMM y un sistema de oxidación VAM para disminuir la emisión de metano y CO ₂ al aire		
Concentración del gas	Según los datos proporcionados por Shanxi Yaoyuan, la concentración de metano de CMM y VAM en la mina de carbón de Lijialou es del 25,5% y 0,5% respectivamente		
Acumulación de gas	49.34 m ³ /min of methane in 2008		

Costos de inversión	72.6033 million yuan CMM generación de energía 40.3001 million Yuan and VAM destrucción 32.3032 million Yuan	Costos de operación y mantenimiento	10.2957 million Yuan
Inversión en construcción	CMM 4.302 million yuan VAM 2.55 million yuan		
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Métodos de explotación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Producción	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Aspectos de seguridad	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Sistemas de ventilación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Métodos de extracción del metano	Sin el proyecto propuesto, el sistema de transporte de gas capturará todo el metano y lo venteará directamente a la atmósfera para la seguridad de la mina		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	El sistema de utilización de CMM, instalado cerca de la estación de bombeo de CMM consiste en diez generadores de 500 KW cada uno, construidos en la mina de carbón de. Para la recuperación de VAM, se instalarán cinco unidades de oxidación VAM en el sitio para destruir el metano en el aire de ventilación.		
Fabricante	Zibo Zichai New Energy Co		
Esquema del sistema	Los nuevos generadores de turbina de gas instalados con CMM de baja concentración como combustible tienen un control automático de ciclo cerrado de la relación aire/combustible a través de tecnología de control electrónico y puede trabajar bien con la condición de concentración variable de gas. El generador puede utilizar eficazmente el gas de la mina de carbón con una concentración de combustible superior al 9%. La eficiencia térmica es del 30%-35%. En <i>Figura 39</i> se presenta un diagrama de flujo simplificado de la tecnología. La unidad de oxidación es diseñada y fabricada por Zibo Zichai New Energy Co. La tecnología de las unidades ha alcanzado estándares internacionales avanzados. Está diseñado para destruir el metano de niveles de concentración de 0.25%-0.75% en VAM. Parte de la energía térmica generada en la unidad se utilizaría para mantener la auto operación, el resto se liberaría como aire caliente a la atmósfera.		
Capacidad de tratamiento	Para la utilización de VAM, se instalarán cinco unidades de oxidación VAM con una capacidad de 60000Nm ³ /h cada una. Este proyecto propuesto capturará y destruirá alrededor de 19.65 millones de Nm ³ de metano puro cada año		
Concentración de Metano necesaria	0.25%-0.75% en VAM	Eficiencia de destrucción del Metano	99.5% de destrucción para el CMM y 95% taza de oxidación del VAM
Reducción de Emisiones	La cantidad promedio anual de reducción de emisiones es de 256,582 toneladas de CO ₂ e.		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	La electricidad anual generada a partir de la generación de electricidad por CMM se estima en 26.250 MWh		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

Figura 39. Sistema del Proyecto



4.5.14. Proyecto Shanxi LuAn Group Gaohe Mine

TIPO DE PROYECTO	Destrucción y utilización del VAM de la mina Gaohe		Año	2006
Empresa	Beijing Blue Yitai Energy Technology Center (Limited Partnership) (P.R. China) Tschach Solutions GmbH (Germany)			
Localización	República Popular China / Provincia de Shanxi / Ciudad de Changzhi / Condado de Changzhi /Pueblo de Haojiazhuang.			
TÉCNICA APLICADA				
Tipo de Utilización	Oxidación	si		
	Aprovechamiento	si		
	El proyecto propuesto consiste principalmente en la construcción de los 12 oxidantes térmicos regenerativos (RTOs) que están diseñados para destruir el VAM a través de un proceso de oxidación sin llama			
Concentración del gas	La concentración actual de metano del VAM en la mina oscila entre el 0,30% y el 0,35%. La concentración media de metano de la ventilación del aire (VAM) y de metano de la mina de carbón (CMM) es del 0,31% y 7,45% respectivamente			
Acumulación de gas	Los volúmenes de VAM y CMM descargados de la mina de carbón de Gaohe por hora son de 1.527.272 Nm ³ /h y 144.454 Nm ³ /h, respectivamente.			
Costos de inversión	94.65 million RMB	Costos de operación y mantenimiento	21.1611 million RMB	
Inversión en construcción	89.65 million RMB			

ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Métodos de explotación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Producción	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Aspectos de seguridad	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Sistemas de ventilación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Métodos de extracción del metano	el escenario existente es la liberación atmosférica de todo el VAM extraído, la CMM anterior a la extracción y la CMM posterior a la extracción		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	Ecopure RTO 3080-7		
Fabricante	Dürr Systems, Inc.		
Esquema del sistema	.La construcción de la actividad del proyecto no tendrá ningún impacto en el proceso de extracción existente del VAM y en la CMM de baja concentración Figura 40. El proyecto propuesto construirá tuberías para introducir el VAM y la CMM desde la estación de extracción existente hasta el sistema RTO. Para poder utilizar plenamente la capacidad RTO y hacer que los RTOs sean más adaptables a la variación de la concentración de metano, la CMM de baja concentración se mezcla con el VAM capturado para enriquecer la concentración de VAM hasta un 1,2% para la oxidación en los RTOs (Figura 41).		
Capacidad de tratamiento	El proyecto propuesto empleará 12 conjuntos de RTOs con una capacidad total de procesamiento de diseño de 1.080.000 Nm ³ /h de VAM (enriquecido con CMM de baja concentración a una concentración esperada de metano del 1,2%). Cuando el volumen VAM de entrada es de 1.080.000 Nm ³ /h con una concentración de metano del 1,2%, el caudal volumétrico y la temperatura del gas de escape a baja temperatura son de 773.220Nm ³ /h y 34° C, respectivamente. Mientras tanto, el caudal volumétrico y la temperatura del gas de escape a alta temperatura son de 306.780Nm ³ /h y 954° C. Tanto el gas de escape de baja temperatura como el gas de escape de alta temperatura se entregarán a la pila RTO, mezclados entre sí y liberados a la atmósfera. los volúmenes de VAM y CMM consumidos por este proyecto propuesto por hora son de 945.378 Nm ³ y 134.622 Nm ³ , respectivamente, por lo que tanto el VAM como la CMM descargados de la mina de carbón de Gaohe son suficientes para este proyecto propuesto		
Concentración de Metano necesaria	Los RTOs pueden tratar el VAM con una concentración de metano entre 0,3% y 1,2%	Eficiencia de destrucción del Metano	≥ 97
Reducción de Emisiones	El proyecto propuesto destruirá 72.790 toneladas de metano al año, equivalente a una reducción anual de 1.227.737 tCO ₂ e.		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	Se espera que la implementación de este proyecto propuesto consuma 24,858.288MWh ₉ de electricidad y 19 toneladas de propano en comparación con la hipótesis base		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

Figura 40. Diagrama de flujo del proyecto propuesto

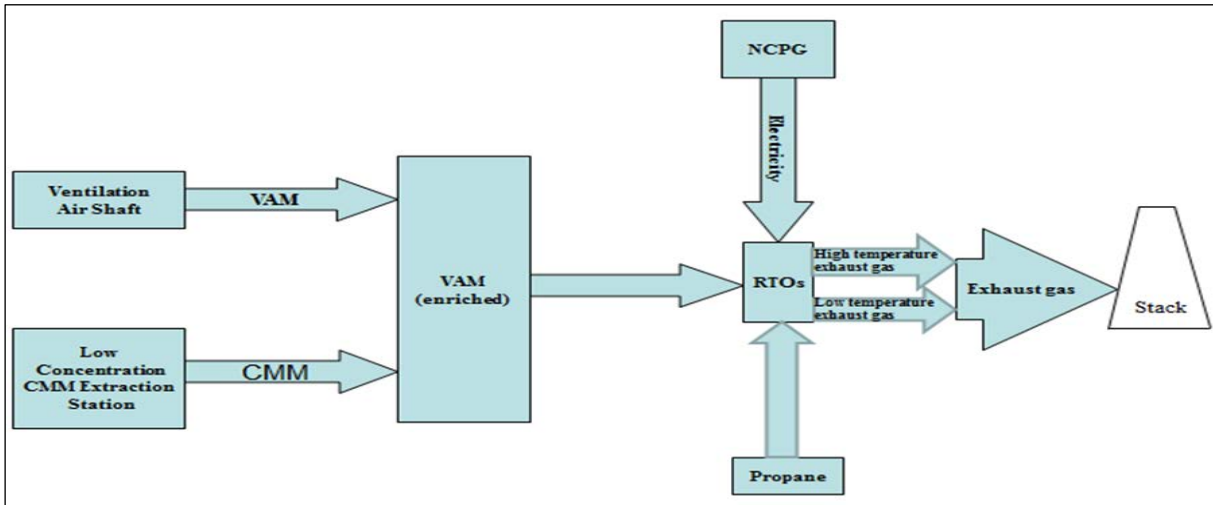
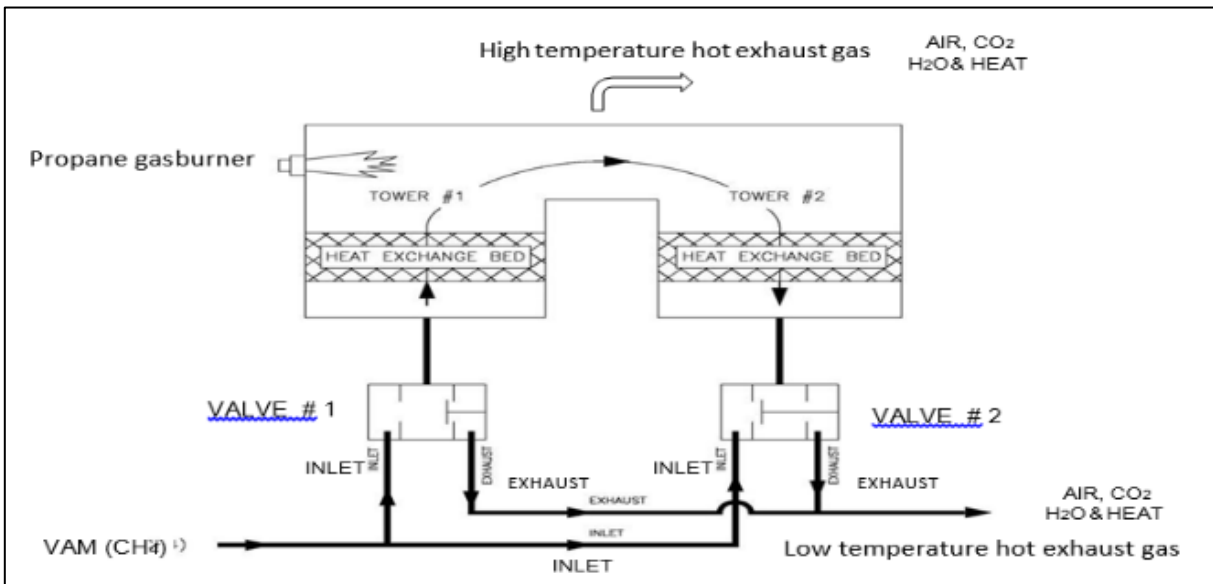


Figura 41. Diagrama de flujo de las RTO



4.5.15. Proyecto Shaanxi Tongchuan Jiaping Mining Area

TIPO DE PROYECTO	Destrucción del VAM en la zona minera de Shaanxi Tongchuan	Año	2006
Empresa	Tongchuan Tuoran New Energy Co., Ltd.(P.R. China) Low Carbon Assets Management Corporation (United Kingdom of		

		Great Britain and Northern Ireland)	
Localización		República Popular China / Provincia de Shaanxi / Ciudad de Tongchuan / Condado de /Pueblo de.	
TÉCNICA APLICADA			
Tipo de Utilización	Oxidación	si	
	Aprovechamiento	no	
	destruirá el metano contenido en el aire de ventilación (VAM) de la mina de carbón de Chengjiashan, la mina de carbón de Xiashijie, la mina de carbón de Yuhua y la mina de carbón de Cuijiagou en el área minera		
Concentración del gas	0.8%		
Acumulación de gas	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Costos de inversión	228.4066 mRMB	Costos de operación y mantenimiento	29.3782 mRMB
Inversión en construcción	219.06 million RMB 7.06 million RMB por unidad		
ASPECTOS TÉCNICOS			
Aspectos geológicos	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Métodos de explotación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Producción	La mina de carbón de Chengjiashan comenzó a funcionar en 1979, la mina de carbón de Xiashijie en 1980, la mina de carbón de Yuhua en 2002 y la mina de carbón de Cuijiagou en 1958 son minas de carbón existentes con una producción anual de carbón de 1,58 millones de toneladas métricas, 1,91 millones de toneladas métricas, 2,3 millones de toneladas métricas y 1,80 millones de toneladas métricas respectivamente		
Aspectos de seguridad	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Sistemas de ventilación	Antes de la ejecución del proyecto propuesto, por razones de seguridad se utiliza un gran volumen de aire para diluir y ventilar el metano contenido en el aire de las carreteras de las minas de carbón		
Métodos de extracción del metano	El gas metano liberado durante las actividades mineras debe ser descargado para cumplir con las regulaciones de seguridad minera chinas. Se libera en forma de metano del aire de ventilación altamente diluido (VAM) con una concentración de metano inferior al 1%. Antes de la ejecución del proyecto propuesto, el VAM de las minas de carbón se liberó al aire libre		
DESTRUCCIÓN DEL METANO			
Tecnología utilizada	Sistema de oxidación sin llama Treinta y un juegos de Vocsidizer sin llama diseñados para tratar 60,000Nm3 de aire de ventilación por hora se usarán para capturar y destruir el VAM y la CMM de baja concentración. El calor durante la oxidación del VAM será suministrado a las minas.		
Fabricante	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
Esquema del sistema	El propósito del proyecto MDL propuesto es destruir el metano contenido en el aire de ventilación (VAM) con la tecnología de oxidación sin llama recientemente desarrollada (conocida como Vocsidizer). Se instalarán 31 sistemas de oxidación sin llama, así como sistemas de apoyo para captar el aire de ventilación del sistema de ventilación existente, en los que se instalarán diez conjuntos en la mina de carbón de Chengjiashan, nueve conjuntos en la mina de carbón de Xiashijie, siete conjuntos en la mina de carbón de Yuhua y cinco conjuntos en la mina de carbón de Cuijiagou. El Vocsidizer funcionará con la concentración de CMM variada dentro del rango de 0,3% a 1% y la concentración de CMM nominal del Vocsidizer es de 0,8%. Como la concentración de CMM en el VAM es normalmente inferior al 0,5%, se utilizará algo de metano de baja concentración de la mina de carbón con una concentración inferior al 6% de las estaciones de extracción de CMM de baja concentración		

	cercanas que actualmente se ventean a la atmósfera para enriquecer el flujo de VAM y mantener la operación estable del Vocsidizer, y esta es la práctica común para el proyecto de destrucción del VAM en China		
Capacidad de tratamiento	La proporción de VAM y de gas CMM de baja concentración enriquecido es de 260:1 Cada VOCSIDIZER está diseñado para tratar 60.000Nm ³ de aire de ventilación por hora.		
Concentración de Metano necesaria	0.3% -1%	Eficiencia de destrucción del Metano	no menos de 95%
Reducción de Emisiones	Se estima que la reducción anual de la emisión es de 1.287.265 tCO ₂ e y durante los primeros siete años de operación, el proyecto propuesto conducirá a una reducción de las emisiones de 9.010.855 tCO ₂ e.		
GENERACIÓN DE ENERGÍA			
Tipo de generación	NO SE ENCONTRÓ INFORMACIÓN DE ESTE TEMA		
ASPECTOS ECONÓMICOS			

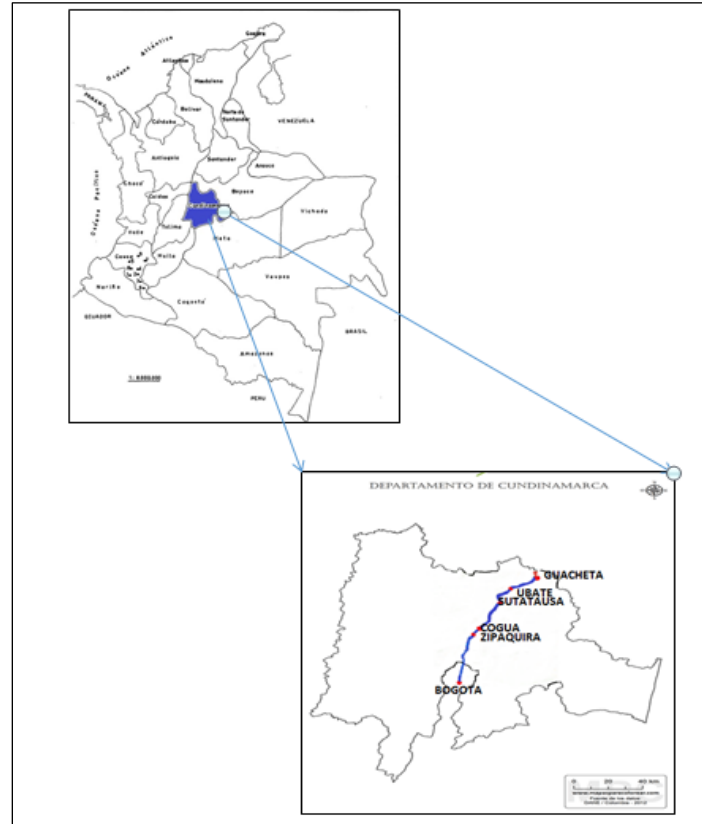
4.6. DIAGNOSTICO TÉCNICO DE LAS MINAS UBICADAS EN LAS ÁREAS PILOTO.

4.6.1. Descripción Area Piloto.

4.6.1.1. Localización y vías de acceso.

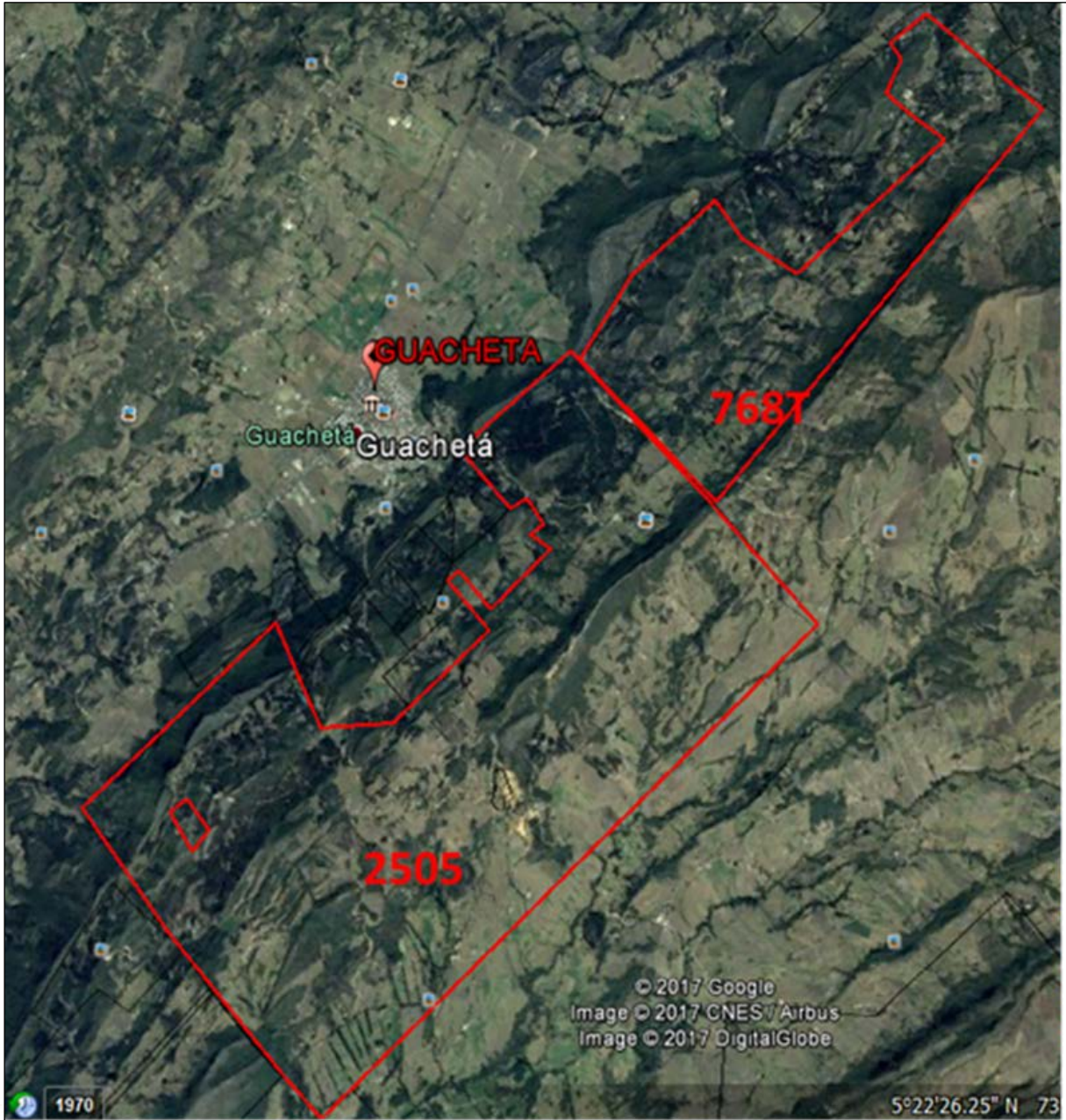
Las áreas piloto se encuentran en jurisdicción del municipio de Guacheta en el departamento de Cundinamarca, inmediatamente al oriente de su casco urbano. Las dos (2) áreas están contiguas, la de Promincarg (Título 768T) al norte y la Uniminas (Título 2505) al sur. (Figura 42). A las áreas de estudio se llega por la vía Bogotá-Ubaté-Guacheta y de allí por carretables a las diferentes unidades de producción minera. (Figura 43).

Figura 42. Localización del departamento de Cundinamarca



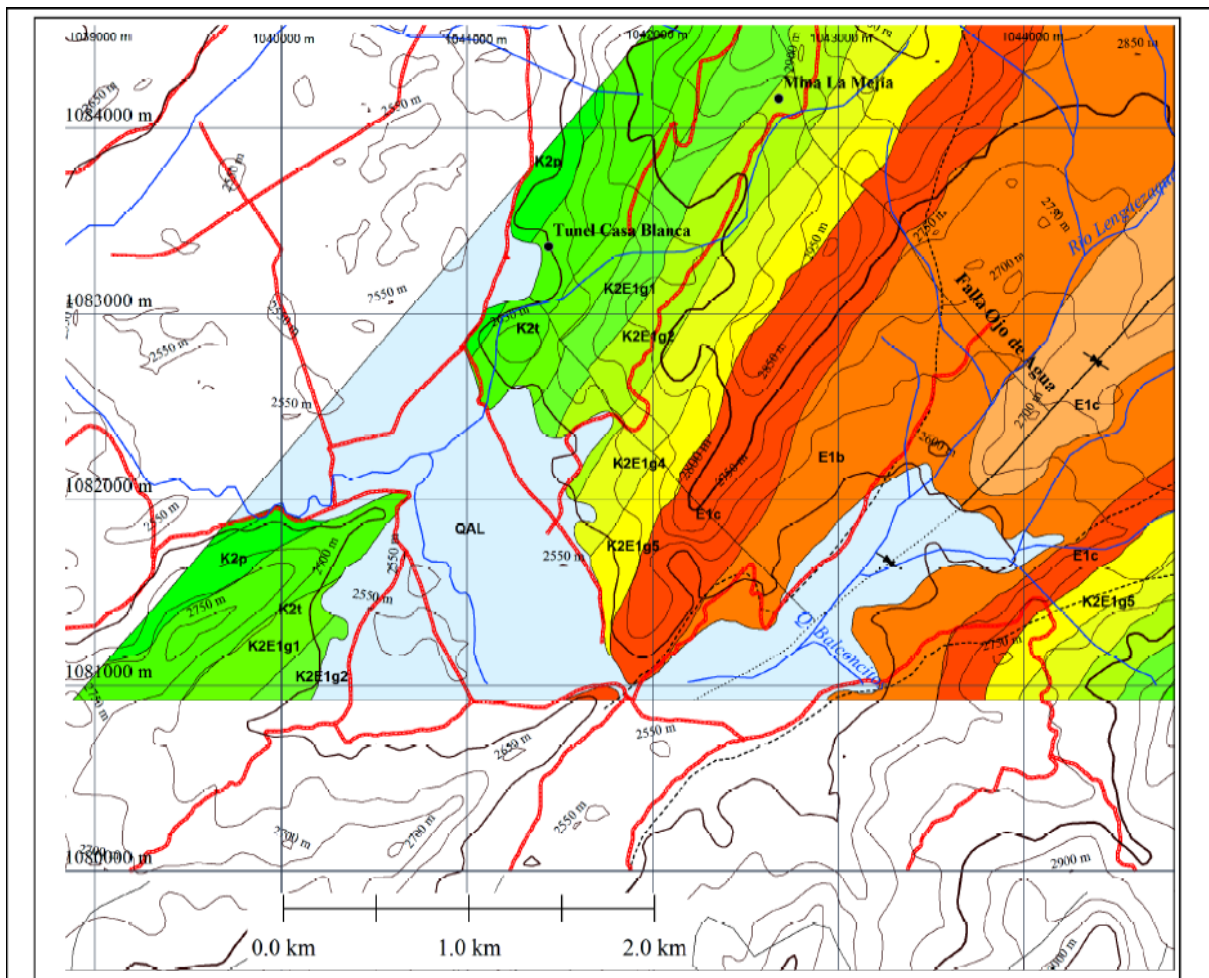
Fuente. Consultor

Figura 43. Áreas Piloto



4.6.1.2. Geología general área de estudio.

Figura 44. Localización sinclinal Checua-Lenguazaque en Cundinamarca



Fuente. SGC, mapa geológico área Guacheta

4.6.1.3. Grupo Guadalupe (Hetner 1892).

Aflora en una gran extensión de la cordillera oriental, con localidad tipo en el área de Bogotá.

Unidad arenosa que suprayace a la Formación Chipaque e infrayace a la Formación Guaduas. (Renzoni 1963, 1968 en: Guerrero y Sarmiento 1996). Divide la formación en tres unidades de rango formacional así: Arenisca Dura (Guadalupe Inferior), Plaeners (Guadalupe Medio) y Labor - Tierna (Guadalupe Superior).

En el área de estudio (áreas piloto) aflora parte de la Formación Plaeners (Guadaupe Superior y la Formación Labor-Tierna (Guadalupe Superior).

4.6.1.4. Formación Guaduas Hettner (1892, en: De Porta, 1974).

ES la unidad que contiene los carbones, aflora en los sinclinales de Río Frio, Neusa, Zipaquira, *Checua – Lenguaque*, Sesquile, Sisga, Subachoque, en el área de La Calera en el sinclinal de Teusacá y al sur en los sinclinales de Usme y Soacha. (SGC, geología de la Sabana de Bogotá, 2005)

Descripción Litoestratigráfica. La Formación se puede dividir en cinco (5) segmentos (SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

Segmento A. Tiene un espesor de 220 m, está constituido por un conjunto de arcillolitas, lodolitas y arenisca. Los 91 m superiores están constituidos por rocas de grano muy fino, intercalados con mantos de carbón, lodolitas, lodolitas limolíticas, limolitas con laminación lenticular, en capas delgadas. (Sarmiento 1994 en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

Segmento B. Tiene un espesor de 30 m, predominantemente arenítico, es conocido como arenisca La Guía, se encuentra constituido por capas delgadas a medias, de areniscas de grano fino y medio, con esporádicas intercalaciones de limolitas y lodolitas con laminación plana paralela (Sarmiento, 1994 en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

Segmento C. Tiene 250 m de espesor, en los primeros 140 m de este segmento se encuentran varios mantos de carbón (con espesores desde 0,4 m hasta 3 m) intercalados con una secuencia de lodolitas, limolitas, lodolitas laminadas y lenticulares con una que otra capa de areniscas de grano muy fino y nódulos de siderita. Los 90 m superiores están constituidos por lodolitas gris oscuro y lodolitas gris azulosas, verdosas y rojizas intercaladas con niveles arcillosos carbonosos (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

Segmento D. tiene 370 m de espesor, la parte inferior está constituida por areniscas de grano muy fino en capas cuneiformes, medias a gruesas; encima se encuentran intercalaciones de capas de lodolitas, limolitas con laminación plana paralela y algunos mantos de carbón con espesores entre 0,65 y 1,8 (m). (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

La parte media está constituida por lodolitas abigarradas algunas carbonosas, limolitas con laminación plana paralela, concreciones de siderita, a medida que sube en la columna el tamaño de grano aumenta a arenitas intercaladas con limolitas, para volver a encontrar niveles arcillosos y lodolíticos. (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

La parte superior del segmento está constituido por la llamada Arenisca Lajosa, constituido por arenitas de grano fino, presenta laminación plana paralela y también presenta intraclastos. (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

Segmento E. Tiene 220 m de, espesor, está constituido por limolitas y arcillolitas en capas gruesas y bancos de colores rojizos, verdosos y azulosos, intercalados con capas medias, cuneiformes de arenitas. (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

La Formación Guaduas descansa en contacto neto y concordante con la infrayacente Formación Arenisca Labor-Tierna. El contacto superior con la suprayacente Formación Cacho es neto (pasa de un nivel arcilloso de la Formación Guaduas a intercalaciones de capas medias y gruesas de arenitas de la Formación Cacho) erosivo e inconforme progresivo de Oeste a Este, faltando secuencia de la Formación Guaduas en el mismo sentido. (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005).

En el área de estudio aflora completa la Formación Guaduas y es la unidad que contiene los carbones que se explotan en las áreas piloto. En ella se encuentran x mantos en el segmento Ktg2 y z mantos en el segmento Ktg3.

4.6.1.5. Formación Cacho Hubach (1931).

La define como de naturaleza “arenisco-ripioso”, está constituida por areniscas granulosas, tiernas desde colores amarillos a ocre y rosados, y algunos bancos de arcillolitas abigarradas. (Julivert 1963 en: SGC, Geología de la Sabana de Bogotá, 2005).

En la Vereda La Carbonera en Guatavita (Cundinamarca) se midieron 172,6 m (SGC, Geología de la Sabana de Bogotá, 2005). La Formación Cacho descansa en contacto neto y erosivo sobre la Formación Guaduas (Sarmiento 1994, en: SGC, geología de la sabana de Bogotá, 2005). El contacto superior es neto y concordante, pasa de una capa muy gruesa de areniscas a un nivel de arcillolitas de la Formación Bogotá.

En el área de estudio aflora completa la Formación Cacho.

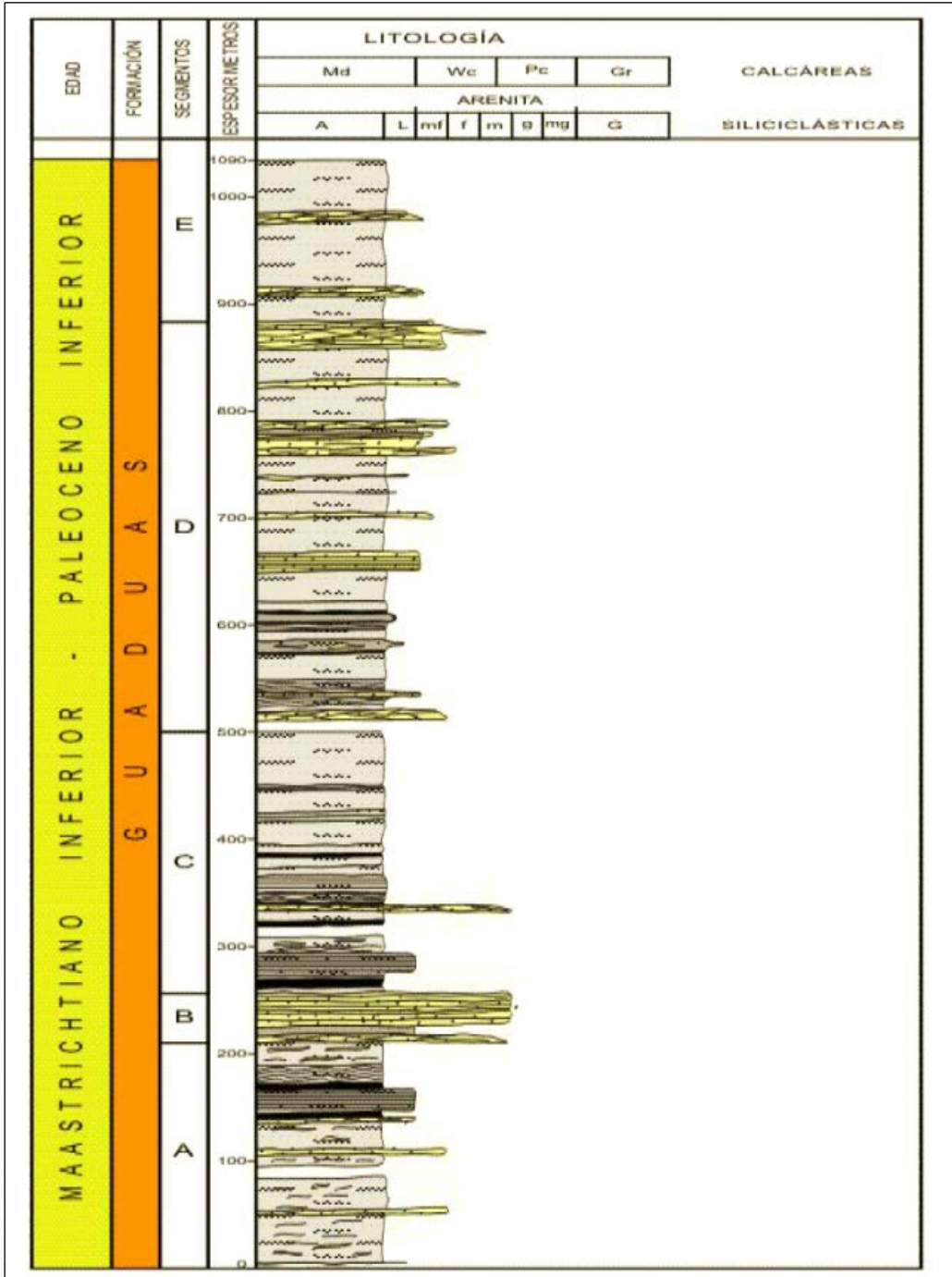
4.6.2. Descripción De Las Minas.

Las áreas piloto se encuentran dentro de los contratos de concesión 2505 y 867T cuyos titulares son Uniminas S.A. y Promincarg S.A.S. respectivamente.

De acuerdo con los datos recolectados en las visitas realizadas a las minas de las áreas piloto, se determinó que estas presentan diferentes valores de concentración de gas metano, su distribución (la presencia de gas metano) no es uniforme.

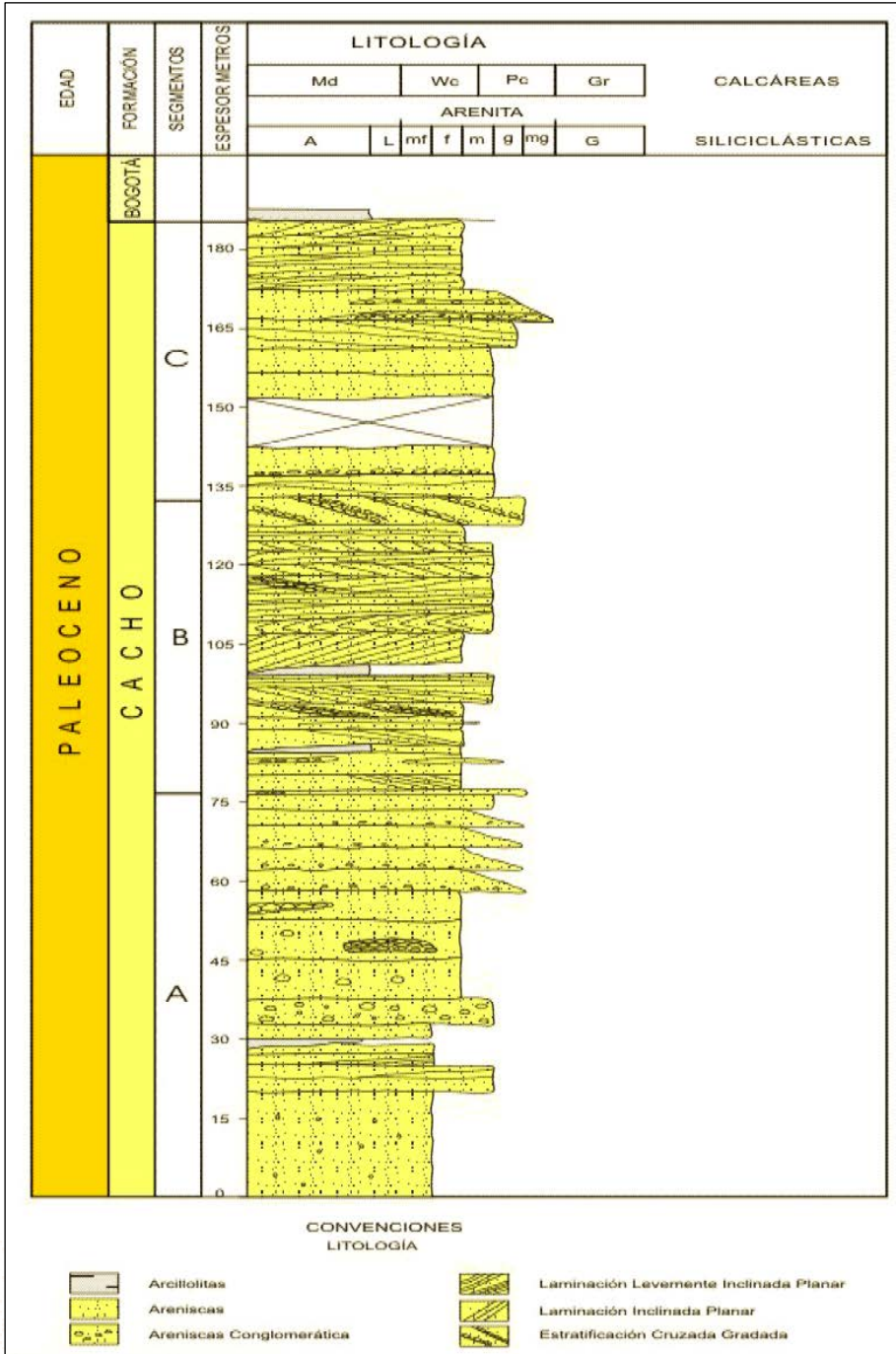
Las más altas concentraciones de gas metano se presentan en las áreas (minas) colindantes de los dos (2) títulos, el área norte del título que cobija a Uniminas y el área sur del título que cobija a Promincarg.

Figura 45. Columna Estratigráfica Formación Guaduas



Fuente. SGC 2005, modificado de Sarmiento 1994

Figura 46. Columna estratigráfica, Formación Cacho



Fuente. SGC, Geología de la Sabana de Bogotá, 2005

Con el objeto de ir definiendo (escogiendo) las minas tipo para la elaboración del proyecto piloto y de acuerdo con la presencia de gas metano (mayor o menor cantidad de metano en las minas) y su posición respecto al norte, las áreas se dividieron en norte, centro y sur.

En la tabla 12 se pueden ver respecto al norte, la distribución de las minas dentro los títulos mineros.

4.6.2.1. UNIMINAS S.A.S. Zona Norte.

Descripción técnica y de la ventilación: En el área de Uniminas laboran 442 personas y producen 19.250 Ton/mes. Las minas de la zona Norte que reportan presencia de gas metano se caracterizan por ser relativamente pequeñas, con producciones entre 300 y 2200 toneladas/ mes. (Ver tabla 13)

A nivel general las minas del área como labores de desarrollo realizan inclinados y niveles y como labores de reparación tambores, el método de explotación es por tajo cortó.

El sistema de transporte funciona de la siguientes manera: en el tajo, el carbón arrancado cae por gravedad a la tecla de descargue en el nivel de transporte donde está ubicada una vagoneta de 1 Ton, esta es empujada manualmente hasta la tolva ubicada al interior en el nivel y por medio de teclas de descargue se carga al Skip ubicado en el inclinado y de allí sale a superficie.

En materia de seguridad y salud en el trabajo cuentan con un profesional ingeniero en Minas especialista en Seguridad y salud en el trabajo encargado de implementar el SG-SST, el personal en general se encuentra capacitado en temas de seguridad minera, accidentes laborales y realizan charlas de seguridad de 6 minutos cada día; los operarios de maquinaria y equipos se encuentran capacitados y certificados por competencias laborales, igual que los trabajadores que manipulan explosivos y trabajo en alturas

La mina cuenta con plan de ventilación, tiene una persona responsable de la ventilación en cada turno de trabajo, se realiza la medición continua de gases, tiene tableros de control bajo tierra y en superficie, el circuito de ventilación es forzada.

Para determinar las condiciones atmosféricas y de ventilación de las minas se contó con la información suministrada por la empresa complementada con información colectada en visitas de campo. Se tomaron datos de caudal, concentración de gases en cada uno de los puntos de aforo ya establecidos.

Tabla 12. Distribución de las minas.

	UNIMINAS S.A	PROMINCARG S.A.S
ZONA NORTE	Inversiones siatoba	Bocamina la Joya
	Mina L a Ceci	Mina el Roble
	Mina El Roble	Bocamina Forigua Cisquera 2
	Mina L a Virgen BM1 Y BM2	Bocamina Cisquera de a 66
	Futuro 2	Bocamina El Roble Piedro 2
	San Miguel	Bocamina Vidriosa
	Mina Esperanza 6	Bocamina El Zuncho
	Jabonera 1 y 2	Bocamina Buenavista
	Mina El Rubí Callejón	Bocamina Bellavista 2
Rinconcito	Bocamina Las Tapias	
ZONA CENTRO	Mina El Túnel (Edgar Duarte)	Mina el Porvenir
	Mina Tierra Alta	Mina el Manzano
	Mina Los Pinos	Mina Siete Bancos-Nelson Gil (cerrada definitivamente)
	Latinoamericana de Carbón	Mina El Volcán
	Carboquality Ltda. El Cerro de Guacheta	Mina El Mortiño
ZONA SUR	Sociedad González	Mina Diamante 7-San Miguel (se encuentra cerrada hace 3 años)
	BM Zuncho 2 Cisquera2	
	La Esperanza 3	Mina La Mana
	BM Siete Bancos	Mina Bocatoma
	Esperanza 2	
	Túnel Casa Blanca	
Mina L a Mejía		

Fuente. Información suministrada por las empresas y datos colectados por el consultor.

A continuación se realiza una descripción de los aspectos técnicos más relevantes de cada una de las minas ubicadas en la zona norte del área del contrato donde se encuentran las concentraciones más altas de metano.

Tabla 13. Minas, producción y mantos de carbón.

ASPECTOS GENERALES			
NOMBRE DE MINA	MANTOS	PERSONAL BAJO TIERRA	PRODUCCION (TON/MES)
Mina San Miguel	- Sincho 1 Cisquera 2, espesor 0,40 m y dirección N47°E. - Zuncho 2 Cisquera 2 espesor 0,42 m y dirección N 47°E. - Cisquera 2 espesor 1,80 m y dirección N47°E. - 7 bancos espesor 2,20 m y dirección N43°E.	TURNOS A: 25 TURNOS B: 7	1216
Mina La Ceci	- Cisquera, espesor 1 m y dirección N45°E. - Tesoro, espesor 0,70m y dirección N45°E.	TURNOS A: 9 TURNOS B: 6 TURNOS C: 4	960

	<ul style="list-style-type: none"> - Milagros, espesor 0,60m y dirección N45°E. - Aliso zuncho, espesor 0,60m y dirección N45°E. 		
Mina La Virgen	<ul style="list-style-type: none"> • Cisquera 2, espesor 1,10 m y dirección N42°E. 	TURNO A: 8 TURNO B: 2	340
Mina Rubí el Callejón	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarta, espesor 0,60 y dirección N46°E. • Tercera, espesor 1m y dirección N45°E. • Bolas, espesor 0,90 y dirección N45°E. • Bocatoma, espesor 1,50 y dirección N46°E. 	10	660
NOMBRE DE MINA	- MANTOS	PERSONAL BAJO TIERRA	PRODUCCION (TON/MES)
Mina Futuro 2	<ul style="list-style-type: none"> - Zuncho de Aliso, espesor 0,70m, dirección N45°E. - Santa Bárbara, espesor 0,85 y dirección N45°E. - Consuelo, espesor 0,85 y dirección N45°E. 	TURNO A: 7 TURNO B: 4 TRUNO C: 2	374
Inversiones Sianoba	<ul style="list-style-type: none"> - Santa Barbara, espesor 0,80m y dirección N43°E. - Consuelo, espesor 0,80 m y dirección N42°E. - Cuartas, espesor 0,50 m y dirección N45°E. - Bolas, espesor 0,70m y dirección N45°E. - Bocatoma, espesor 1,20 m y dirección N42°E 	TURNO A: 15 TURNO B: 8 TURNO C: 2	880
Mina Rinconcito	<ul style="list-style-type: none"> - Cisquera 1, espesor 1,3 m y dirección N38°E. - Zuncho 1 Cisquera 1, espesor 0,4 m, dirección N40°E. - Tesoro espesor 0,7 m, dirección N40E. - Milagro, espesor 0,65, dirección N 40° E. - Zuncho de Aliso, espesor 0,65m, dirección N38°E. - Santa Bárbara, espesor 0,8m, dirección N40°E. - Consuelo, espesor 0,8m, dirección N40E. 	TURNO A: 39	2340
JABONERA 1 Y 2	<ul style="list-style-type: none"> - Cisquera 2, espesor 1,10 m, dirección N45°E. - Siete bancos, espesor 1m, dirección N45°E. 	<u>JABONERA 1</u> TURNO A:6 TURNO B: 2 TRNO C: 2 <u>JABONERA 2</u> TURNO A:6 TURNO B: 2 TURNO C: 2	394

NOMBRE DE MINA	- MANTOS	PERSONAL BAJO TIERRA	PRODUCCION (TON/MES)
EL CURUBO	<ul style="list-style-type: none"> - Manto Tercera, espesor 0,38 m, dirección N 45°E. - Manto cuarta, espesor 0,42 m. dirección N45°E. - Manto bolas, espesor 0,67 m, dirección N45°E. - Manto Piedro, espesor 0,74m, direccion N45°E. - Manto consuelo, espesor 0,35 m, dirección N45°E. 	<p>TURNOS A: 4 TURNOS B: 3</p>	300
LOS PINOS	<ul style="list-style-type: none"> - Cisquera 2. Espesor 2,10 m, dirección N45°E. - Zuncho cisquera 1. Espesor 0,40 m, N45°E. - Zuncho cisquera 2. Espesor 0,38, dirección N45°E. 	<p>TURNOS A: 6 TURNOS B: 2</p>	390
TIERA ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Cisquera 2 - Zuncho 1 Cisquera 2 - Siete Bancos 	TURNOS A: 12	520
ESPERANZA 2 Y 3	<ul style="list-style-type: none"> - Zuncho 1 - Zuncho 2 - Cisquera 2 - Siete bancos 	<p><u>ESPERANZA 2</u> TURNOS A: 5 TURNOS B: 2 TURNOS C: 2 <u>ESPERANZA 3</u> TURNOS A: 3 TURNOS B: 4 TURNOS C: 4</p>	550

Fuente. Información suministrada por Uniminas y datos colectados por el consultor.

4.6.2.1.1. Mina San Miguel.

La mina San Miguel produce 1.216 Ton/mes en dos turnos de trabajo, de 6 a.m. a 2 pm y de 2 p.m. a 10 pm, trabajan 25 personas en el primer turno y 7 personas en el segundo turno preparando el tajo para el turno de la mañana. En total laboran 32 personas, un ingeniero de minas dirige la operación.

Para el avance de niveles y cruzadas se realizan perforación y voladura, se utilizan 195 Kg de Indugel permisible y 280 detonadores por mes. El avance en carbón y arranque se realiza con martillos neumáticos. A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina San Miguel (**Tabla 14**).

Tabla 14. Descripción labores de desarrollo y preparación mina San Miguel.

DESCRIPCION DE LABORES MINA SAN MIGUEL		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Inclinado de 285 m, II nivel de 30m por manto zuncho 2 y 285 m por manto zuncho 1 , cruzadas cada 100 metros para tener accesos a mantos cisquera y 7 bancos con avance en el rumbo de 200 metros al sur y 100 metros al norte	Manto Zuncho 1: tambores con longitud de 60 m y salideros cada 7 m, Manto cisquera 2 tambores de 30 m en el rumbo y salideros cada 7m, Manto 7 bancos tambores corte 26m y salideros cada 7 metros?	Tajo corto: avance de tambor comunicado con el nivel superior se inicia con el encerado dejando 3 m de macho a la vía superior, se realiza la explotación en sentido de avance del nivel, el arranque del carbón se realiza en sentido descendiente dejando 4 m de machón al nivel.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera en inclinados y tambores de preparación, en tambores de ventilación se usan cuadros y en niveles y cruzadas puerta alemana, dejando un área libre de 3 m² en las labores de desarrollo y 0,7 m² en los tambores.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III, que define las minas o frentes fuertemente grisutuosas, donde las concentraciones de metano en cualquier zona de la mina pueden superar el 0,3%. A continuación, muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina San Miguel. (**Tabla 15**).

Tabla 15. Medicion de gases y volumen de CH₄, Mina San Miguel

MEDICION DE GASES							
Mina San Miguel							
FECHA: 27 de Septiembre de 2017							
N	Hora	Medida de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H ₂ S (ppm)	O ₂ %	CH ₄ %	CO ₂ %
1	8:00	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9	0	0
2	8:15	Tambor Sur Z 3 Cisquera (Labor derrumbada en Superficie)	0	0	20,3	1,1	0,6
3	8:30	Inclinado San Miguel 2 (Abscisa 10)	0	0	20,9	0	0

MEDICION DE GASES							
Mina San Miguel							
FECHA: 27 de Septiembre de 2017							
4	8:40	Inclinado San Miguel 2 (Abscisa 200)	0	0	20,9	0	0
5	8:50	Cruzada Zuncho 3 - Zuncho 1 (Nivel 180 respecto a Inclinado)	0	0	20,9	0	0
6	9:00	Nivel Sur 220 Zuncho 2 (Abscisa 4) San Miguel 2	0	0	20,9	0	0
7	9:10	Tambor Auxiliar Zuncho 3 Nivel Sur 220 a Sobreguia 200	0	0	20,9	0,1	0
8	9:20	Tambor Auxiliar Zuncho 2 Nivel Sur 220 a Sobreguia 240	0	0	20,9	0,3	0
9	9:30	Cruzada Zuncho 2 - Zuncho 1 (Nivel 220 respecto a Inclinado)	0	0	20,9	0,15	0
10	9:40	Nivel Sur Zuncho 1 (abscisa 105) San Miguel 1	0	0	20,9	0,35	0
11	9:50	Tambor Auxiliar Norte Zuncho 1 Nivel Inferior a Superior	0	0	20,7	0,4	0
12	9:55	Nivel Sur Zuncho 1 (abscisa 50) San Miguel 1	0	0	20,7	0,3	0
13	10:00	Tambor Auxiliar Sur Zuncho 1 Nivel Inferior a Superior (Abs 10)	0	0	20,7	0,3	0
14	10:10	Tambor Auxiliar Sur Zuncho 2 Nivel Superior 220 a 180	0	0	20,7	0,3	0
15	10:15	Tambor Auxiliar Sur Zuncho 1 Nivel Superior 180 a 140	0	0	20,7	0,3	0
16	10:20	Nivel Sur Zuncho 1 (abscisa 150) San Miguel 2	0	0	20,4	0,5	0
17	10:30	Ducto de ventilación Cruzada a 7 Bancos Sector Sur	0	0	20,9	0	0
18	10:40	Tambor vent. Zuncho 1 a Entre Nivel Inferior y Superior Sec. Sur	0	0	20,4	0,55	0
19	10:50	Tambor vent. Zuncho 1 a Superficie Nivel 220 Sur San Miguel 2	0	0	20,4	0,55	0
20	11:00	Tambor vent. Zuncho 1 a Superficie Nivel 220 Sur Subidero	0	0	20,4	0,45	0

MEDICION DE GASES							
Mina San Miguel							
FECHA: 27 de Septiembre de 2017							
21	11:10	Tambor Auxiliar Nivel 260 Sur Zuncho 2 A Sobreguia Sur 240	0	0	20,5	0	0,3
22	11:20	Tambor vent. comunicación sobreguia bombeo	0	0	20,3	0,6	0,6
23	11:30	Sobreguia Norte A Corte Cisquera 2 Sector Sur San Miguel 2	0	0	20,5	0,55	0,3
24	11:40	Ducto V 7,5 HP de ventilacion Frente Sur Cisquera 2 Nivel Inferior	0	0	20,9	0	0
25	11:50	Ducto V 10 HP de ventilacion Frente Sur Cisquera 2 Nivel Inferior	0	0	20,9	0	0
26	12:00	Nivel Sur 3 260 Embarcadero Inclinado San Miguel 2	0	0	20,9	0	0
27	12:50	Ducto V 6 HP de ventilacion Corte Sur 7 Bancos San Miguel 1	0	0	20,9	0	0
28	13:15	Inclinado San Miguel 1 (Abscisa 10) Roble	0	0	20,5	0,4	0,3
29	13:35	Bocamina Diamante 7 (Labor Derrumbada)	0	0	20,4	1	0
30	14:00	Tambor de ventilación Zuncho 2 al sur (superficie)	0	0	20,4	0,7	0

VOLUMEN DE METANO									
OBS	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado San Miguel 2 (Abscisa 5)	1,5	0	3,3	5,1	304	0	0	0
	Aire Comprimido				0,1	8,1			
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado San Miguel 1 roble (Abscisa 10)	0,8	0,4	3	2,4	146	737,25	22.118	265.410
	Tambor de ventilación Zuncho 2 al	1,7	0,8	0,4	0,7	41	455,57	13.667	164.005

sur (superficie)									
T. de Ventilación Sur Z 2. Cisquera - Superficie	1,4	1	1	1,4	84	1.216,51	36.495	437.944	
Nivel Norte 3 Com/cion Diamante 7 (Abscisa 10)	0.944	0,3	0,7	0,7	42	181,4	5.442	65.303	
TOTAL						2590,73	77.722	932.663	

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.2. Mina La Ceci.

La mina La Ceci produce 1.000 Ton/mes en tres turnos de trabajo, turno A de 6 a.m. a 2 p.m. con 9 personas, turno B de 2 p.m. a 10 p.m. con 6 personas y turno C de 10 p.m. a 6 a.m. con 4 personas, en total laboran bajo tierra un total de 19 personas.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando Indugel permisible y detonadores. El avance en carbón y arranque se realiza con martillos neumáticos. A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina La Ceci (**Tabla 16**)

Tabla 16. Desarrollo, preparación y explotación de la mina La Ceci.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Nivel tesoro Norte 82,5 m desde el inclinado de transporte. Nivel Milagro Sur 148 m desde el inclinado de transporte. Nivel Manto Zuncho Aliso 125 m al sur. Cruzada inferior Nivel 6 de tesoro a Zuncho Aliso 19 m.	En los mantos Tesoro y Zuncho de Aliso y Cisquera Se avanzan tambores perpendiculares al rumbo con una longitud de 40 m en promedio por el manto que tiene una inclinación de 15°. En el manto Milagros se avanza una chimenea desde el nivel del manto Tesoro para iniciar la preparación.	Tajo Corto: Luego de avanzar el tambor y comunicarlo con el nivel superior se inicia con el encielado dejando 3 m de machón a la vía superior y se realiza la explotación en sentido del avance del nivel, el arranque del carbón se realiza en tajo corto en sentido descendente dejando 4 m de machón al nivel inferior.

Fuente. Uniminas y Consultor

El sostenimiento se realiza con madera en inclinado y tambores de preparación, en tambores de ventilación se realizan cuadros, dejando un área libre de 3m², 0,7m² y 1m² respectivamente, en los niveles usan puerta alemana y en las cruzadas sostenimiento natural con área libre de 3,2 m².

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III Minas o Frentes fuertemente grisutuosas donde las concentraciones de metano en cualquier zona de la mina pueden superar el 0,3%. A continuación se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina La Ceci. (Ver tabla 18)

Tabla 17. Medicion de gases y Volumen de CH4 mina La Ceci.

MEDICION DE GASES							
Mina La Ceci Ltda							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CO2(%)	CH4 (%)
1	8:00	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9		0
2	8:10	Cruzada Sur 1 Tesoro a Planta de Soda	0	0	20,5	0	0,2
3	8:20	Inclinado Milagro (Abscisa 90)	0	0	20,2	0,35	0,55
4	8:30	Tambor Sur Planta de Soda entre Nivel 130 - Sobreguia 60	0	0	20,9	0	0
5	8:40	Inclinado Milagro (Abscisa 150)	0	0	20,2	0,4	0,6
6	8:50	Nivel Sur 4 Milagro (Abscisa 5)	0	0	20,7	0	0,1
7	9:00	Tambor Sur Planta de Soda entre Nivel 177 - Nivel 130	0	0	20,7	0,3	0
8	9:10	Diagonal Sur Planta de Soda entre Nivel 177 - Nivel 130	0	0	20,7	0	0
9	9:20	Diagonal Sur Planta de Soda entre Nivel 5 (220) - Nivel 177	0	0	20,7	0	0
10	9:30	Cruzada Sur Nivel 4 Planta de Soda A Zuncho Aliso)	0	0	20,6	0	0,2
11	9:40	Inclinado Ventilacion Nivel 4 Norte Z. de Aliso (Abscisa 45)	0	0	20,9	0	0
12	9:50	Nivel Norte 4 Z. de Aliso (Abscisa 30)	0	0	20,7	0	0,1

MEDICION DE GASES							
Mina La Ceci Ltda							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CO2(%)	CH4 (%)
13	10:00	Tambor nivel 4 norte Z. aliso a Corte Inferior (Abscisa 115)	0	0	20,4	0,3	0,3
14	10:10	Tambor nivel 4 Sur Z. aliso a Corte Inferior (Abscisa 53)	0	0	20,1	0,3	0,4
15	10:20	Inclinado Milagro (Abscisa 200)	0	0	20,3	0,4	0,55
16	10:30	Nivel Sur 5 Milagro (Abscisa 5)	0	0	20,1	0	0,85
17	10:40	Sobreguia Sur 5 Milagro (Abscisa 60)	0	0	19,6	0	1,25
18	10:50	Cruzada Sur Nivel 5 Planta de Soda A Zuncho Aliso)	0	0	20,1	0	0,2
19	11:00	Inclinado Ventilacion Nivel 5 Norte Z. de Aliso (Abscisa 73)	0	0	20,9	0	0,2
20	11:10	Ducto de Ventilacion Nivel Norte 5 Inferior Zuncho Aliso	0	0	20,9	0	0
21	11:20	Ducto de Ventilacion Nivel Sur 5 Inferior Zuncho Aliso	0	0	20,9	0	0
22	11:30	Nivel Sur 5 Tesoro (Abscisa 28)	0	0	19,6	0	0,85
23	11:40	Inclinado Milagro (Abscisa 230)	0	0	20,4	0,3	0,4
24	11:50	Nivel norte 5 Inferior Tesoro - Comunicación siatoba	0	0	20,3	0	0,75
25	12:00	Nivel norte 5 Tesoro (Abscisa 35)	0	0	20,3	0	0,7
26	12:10	Nivel norte 5 Milagro (Abscisa 10)	0	0	20,1	0	0,9
27	12:20	Ventana Tesoro - Milagro Nivel Norte 5 (Abscisa 47)	0	0	20,3	0	0,65
28	12:30	Inclinado Milagro (Abscisa 255)	0	0	20,1	0	0,55
29	12:40	Nivel Sur 6 Tesoro (Abscisa 40)	0	0	20,1	0	0,7
30	12:50	Ducto de Ventilacion Nivel Sur 6 Inferior Cruzada Tesoro a P. de Soda	0	0	20,9	0	0
31	13:00	Ducto de Ventilacion Nivel Sur 6 Milagro	0	0	20,9	0	0

MEDICION DE GASES							
Mina La Ceci Ltda							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CO2(%)	CH4 (%)
32	13:10	Ducto de Ventilacion Corte Sur 6 Milagro	0	0	20,7	0	0
33	13:20	Nivel Norte 6 Milagro (Abscisa 10)	0	0	20	0	0,8
34	13:30	Nivel Norte 6 Tesoro (Abscisa 40)	0	0	20,1	0	0,65
35	13:40	Tambor Norte Tesoro entre Nivel 6 a 5 (Abscisa 20)	0	0	20,4	0,3	0,4
36	13:50	Ducto de Ventilacion Nivel Norte 6 Inferior Tesoro	0	0	20,8	0	0
37	14:00	Ducto de Ventilacion Fondo de Inclinado Milagro	0	0	20,6	0	0,2
38	14:30	Inclinado Ventilacion Zuncho Aliso (Abscisa 10)	0	0	20,9	0	0
39	14:45	Tambor de Ventilacion Sur Tesoro – Quebrada	0	0	20,9	0	0
40	15:00	Inclinado Milagro (Abscisa 20)	0	0	20,2	0,3	0,4

Tabla 18. Medición de gases y Volumen de CH4 mina La Ceci

CANTIDAD DE METANO									
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Tambor de Ventilación Sur Tesoro (Quebrada)	1,067	0	0,56	0,6	36	0	0	0
	Inclinado Z. Aliso (Abscisa 5)	0,74	0	2,31	1,73	103,8	0	0	0

CANTIDAD DE METANO									
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH 4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
SALIDAS DE CAUDAL	Nivel Norte Tesoro - Comunicación Inv. Siatoba Milagro	0,656	0,3	1,59	1,04	62,4	269,568	8087,04	97044,48
	Aire Comprimido					0,076	0	0	0
	Inclinado Milagro (Abscisa 20)	1	0,4	3,44	3,44	206,4	1188,864	35665,92	427991,04
TOTAL							1458,432	43752,96	525.035,5

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.3. Mina La Virgen.

La mina La Virgen produce 340 Ton/mes en dos turnos de trabajo. Turno A de 6 a.m. a 2 p.m. con 8 personas y Turno B de 2 p.m. a 10 p.m. con 2 personas, para un total de 10 personas laborando bajo tierra.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 25 Kg de Indugel permisible y 34 detonadores. El avance en carbón y arranque se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina La Virgen (**Tabla 19**).

Tabla 19. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina La Virgen.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION
Inclinado de 45° de 240m, un nivel al sur de 120m por el manto Cisquera2, una cruzada a manto Zuncho 1 desde Cisquera 2 donde se ha avanzado 20 m al sur y 20 m al norte.	Se realizan tambores desde los niveles cada 8 metros para acceder al tajo corto.	Tajo Corto: se avanzan tambores desde el nivel de 40 m y se dejan machones de 5 m en el encielado (nivel de cabecera) y 5 en el nivel de transporte, la explotación se realiza en retrocesos, es decir primero se avanza todo el nivel y luego se devuelve realizando la explotación.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento en el inclinado se realiza con madera, se utilizan cuadros dejando un área libre 2,7 m², en los niveles usan puerta alemana dejando un área libre de 2,4 m² y en las cruzadas sostenimiento natural dejando área libre de 2,8 m².

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación, se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina La Virgen. (**Tabla 20**).

Tabla 20. Medición de gases y Volumen de Metano, mina La Virgen.

MEDICION DE GASES							
MINA LA VIRGEN							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO	H ₂ S	O ₂	CH ₄	CO ₂
			(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)
1	9:30	Superficie aforo aire normal	0	0	20,9	0	0
2	9:35	Tambor Ventilacion Norte Cisquera 2 BM 1 (Superficie)	0	0	20	0,35	0,65
3	9:45	Inclinado 1 (Abscisa 15)	0	0	20,9	0	0
4	10:00	T. Ventilacion Norte Cisquera 2 BM 1 Nivel 210	0	0	20	0,65	0,5
5	10:35	Inclinado 1 (Abscisa 200)	0	0	20,9	0,1	0,21
6	10:45	T. corte sur cisquera 2 nivel inferior a superior	0	0	20	0,8	0,3
7	11:00	Tambor de ventilacion Cisquera 2 (Abscisa 135)	0	0	20,1	0,85	0

MEDICION DE GASES									
MINA LA VIRGEN									
N	Hora	Punto de Medida			Gases				
					CO	H2S	O2	CH4	CO2
					(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)
8	11:30	Ducto de Ventilación Fondo del Inclinado			0	0	20,9	0	0
9	12:15	Ducto de Ventilación Frente Sur Inferior Cisquera 2 (abscisa 265)			0	0	20,6	0	0
10	12:30	Tambor Subidero corte sur cisquera 2 nivel inferior			0	0	20,2	0,7	0,3
11	13:00	Tambor Inclinado Ventilación Sur Cisquera 2 BM 2			0	0	20,1	0,75	0,35
VOLUMEN DE METANO									
OBSERVA	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado 1 (Abscisa 15)	0,425	0	3,2	1,357	81,42	0	0	0
	Aire Comprimido				0,135	8,1	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Tambor Ventilación Norte Cisquera 2 BM 1	0,375	0,35	0,54	0,202	12,12	61,0848	1832,54	21990,53
	Tambor Inclinado Ventilación Sur Cisquera 2 BM 2	0,489	0,75	2,64	1,29	77,4	835,92	25077,6	300931,2
TOTAL							897,0048	26910,144	322921,73

Fuente. Uniminas y Consultor

4.6.2.1.4. Mina Rubí - El Callejón.

El Rubí el Callejón actualmente produce 556 Ton/mes en un turno de trabajo de 6 a.m. a 2 p.m. con 10 personas laborando bajo tierra.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 25 Kg de Indugel permisible y 48 detonadores. El avance en carbón y arranque se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina El Rubí Callejón (**Tabla 21**).

Tabla 21. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina El Rubí Callejón.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Nivel hacia Manto Bolas, Cruzada hacia manto Cuartas de 197m y en la abscisa 100 cruzada a Manto Bolas de 75 m de longitud.	Se realizan tambores de 65 m de longitud que conectan el nivel superior por el manto con inclinación de 45° con tambor diagonal de 10m para conectar con tambor de corte.	Tajo corto: se avanza un tambor de 50m y se realiza la explotación dejando 5m de machón en el encielado y 5 m de macho en el nivel de transporte el tajo queda de aprox 40 m con la inclinación del manto 48° la explotación se realiza en sentido de avance del nivel de transporte.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, en el inclinado se realizan cuadros dejando un área libre 2,2 m², en los niveles usan puerta alemana dejando un área libre de 2,5 m² y en las cruzadas sostenimiento natural dejando área libre de 3 m².

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación, se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina Rubí el Callejón. (**Tabla 22**)

Tabla 22. Medicion de Gases y volumen de CH4 mina Rubí Callejón.

MEIDICION DE GASES						
MINA EL RUBI – CALLEJON						
N	Hora	Punto de Medida	Gases			
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)
1	8:00	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9	0
2	8:15	inclinado rubi (abscisa 10)	0	0	20,9	0
3	8:30	Inclinado entre Nivel Superior e Inferior	0	0	20,9	0,35

MEIDICION DE GASES										
MINA EL RUBI – CALLEJON										
N	Hora	Punto de Medida				Gases				
						CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	
4	8:40	Nivel Inferior Bolas (Despues de Cruzada)				0	0	20,2	0,3	
5	9:20	Nivel sur Inferior Cuarta (Despues de Cruzada)				0	0	20,2	0,3	
6	9:00	Tambor subidero corte Cuarta sur				0	0	20,1	0,2	
7	9:30	Tambor subidero corte Bolas sur				0	0	20,2	0,3	
8	10:25	Tambor salidero corte de cuarta segundo nivel				0	0	20,1	0,56	
9	10:45	Tambor Ventilación Sur Cuarta / Superficie				0	0	19,5	0,35	
VOLUMEN DE METANO										
MINA EL RUBI –CALLEJON										
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)	
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado Rubí (Abscisa 10)	0,3	0	2,246	0,674	40,44	0	0	0	
	Aire Comprimido				0,135	8,1	0	0	0	
SALIDAS DE CAUDAL	Tambor Ventilación Sur Cuarta / Superficie	1,9	0,35	0,426	0,809	48,54	244,642	7339,25	88071	

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.5. Mina El Futuro Dos.

La mina Futuro 2 actualmente produce 277 Ton/mes en dos turnos de trabajo de 6 a.m. a 2 p.m. y de 2 p.m. a 10 p.m. con 6 y 2 personas laborando respectivamente bajo tierra.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 5 Kg de Indugel permisible y 12 detonadores. El avance en carbón y arranque se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina El Futuro Dos. (**Tabla 23**)

El sostenimiento se realiza con madera, en el inclinado y en el tambor de ventilación se realizan cuadros dejando un área libre 2,5 m² y 1,5 m² respectivamente, en los niveles y cruzadas usan puerta alemana dejando un área libre de 2,8 m² y 3 m².

Tabla 23. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Futuro 2.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Inclinado principal Zuncho de Aliso, Nivel por Zuncho de Aliso de 300m ya explotados, en abscisa 225 Cruzada de 75m hacia manto Santa Bárbara de 20m y consuelo de 40 m, cruzada a manto.	Tambor corte de 60 m de longitud que conectan el nivel superior por el manto.	Tajo Corto: se avanza un tambor dejando 3 m de machón de encielado en el nivel superior y 4 m de machón en el nivel de transporte la explotación se realiza en sentido de avance del nivel.

Fuente. Uniminas y Consultor.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación, se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina Futuro 2. (**Tabla 24**).

Tabla 24. Características de ventilación y contenido de CH4 mina Futuro Dos.

MEIDICION DE GASES							
MINAFUTURO DOS							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	8:30	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9	0	0
2	8:50	Inclinado Zuncho Aliso (Abscisa 20)	0	0	20,2	0,35	0,3
3	9:10	Nivel Norte Inferior Zuncho Aliso (Abscisa 25)	0	0	20,4	0,3	0
4	9:20	Cruzada Norte 65 - Tambor P. Soda Ventilacion	0	0	20,9	0	0
5	9:40	Nivel Norte Inferior Zuncho Aliso (Abscisa 125)	0	0	20,2	0,35	0,3
6	11:15	Ducto de Ventilacion Frente Sur Santa Barbara	0	0	20,9	0	
7	10:45	Ducto de Ventilacion Corte norte Sta. Barbara	0	0	20,9	0	
8	10:15	Ducto de Ventilacion Frente Norte Consuelo	0	0	20,9	0	

MEIDICION DE GASES											
MINAFUTURO DOS											
N	Hora	Punto de Medida				Gases					
						CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	
9	9:55	Ducto de Ventilacion Corte Norte Consuelo				0	0	20,9	0		
10	10:30	Cruzada Norte entre Z. Aliso - Sta. Barbara				0	0	19,9	0,6	0,3	
11	12:50	T. P. Soda Ventilacion (Abscisa 50)				0	0	20,9	0	0	
VOLUMEN DE METANO											
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PR OM (m/s)	CH 4 (%)	ARE A (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)		
ENTRADA DE CAUDAL	T. P. Soda Ventilación (nivel inferior)	1,744	0	0,855	1,49	89,4	0	0	0		
	Aire Comprimido				0,068	4,08	0	0	0		
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Zuncho Aliso (Abscisa 12)	0,45	0,4	3,459	1,56	93,6	539,14	16174,1	194089		
TOTAL							539,136	16174,08	194089		

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.6. Inversiones Siatoba – Carbones G y D. (Bocamina consuelo).

La mina Inversiones Siatoba LTDA actualmente produce 880 Ton/mes en tres turnos de trabajo; turno A de 7 a.m. a 3 p.m. con 15 personas laborando, turno B de 3 p.m. a 11 p.m. en el que laboran 8 personas y turno C de 11 p.m. a 7 a.m. en el que laboran 2 personas, en total laboran 25 personas bajo tierra.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 168 Kg de Indugel permisible y 228 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Inversiones Siatoba LTDA. (Ver tabla 25)

Tabla 25. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Inversiones Siatoba Ltda.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION
Inclinado de transporte de 42° y 310 m de longitud, nivel sur Santa Bárbara de 240 m de longitud, Nivel sur 240 consuelo de 45 m de longitud, nivel sur 240 Cuarta de 295 m de longitud, Nivel sur 10 cuarta de 160 m de longitud desde la cruzada superior 180 e inferior 240 de 88 m de longitud desde manto Santa Bárbara a Manto Bolas.	Tambores avanzados por el buzamiento del manto con una inclinación promedio de 45° de 7 m? de longitud y diagonal a corte explotación en avance con longitud de 5-6 m para trasladar tecla de descargue de tambor anterior, cuando se presentan falla o caso fortuito de derrumbe del tajo se debe realizar el tambor en la totalidad de la cuelga que son 58 m	Tajo Corto: después de avanzar el tambor en la totalidad de la cuelga 58m desde el nivel inferior a superior se inicia con el avance del encielado dejando 4 m de machón a nivel superior para comenzar con la explotación en sentido de avance hacia el sur, el arranque del carbón se realiza en sentido descendente formando calle de avance de 1 metro.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, en el inclinado se usa puerta alemana, cuadro y tacos con cabecera en zonas de explotación.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación, se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina Inversiones Siatoba. (Ver tabla 26)

Tabla 26. Medicion de gases y Volumen de CH4 mina Inversiones Siatoba.

MEIDICION DE GASES							
MINA INVERSIONES SIATOBA							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	8:50	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	9:10	Inclinado Consuelo (Abscisa 15)	0	0	20,4	0,56	0,5
3	9:35	Nivel Sur Consuelo Abscisa 15 (Nivel 180)	0	0	20,4	0,4	0,52
4	10:15	cruzada santa barbara (nivel 180)	0	0	20,4	0,4	0,48
5	10:20	Ducto de ventilacion manto cuartas (nivel 180)	0	0	19,7	0,4	0,8

MEIDICION DE GASES							
MINA INVERSIONES SIATOBA							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
6	10:30	tambor corte manto cuartas de nivel 240 al 180	0	0	20,1	0,95	0,6
7	10:45	Nivel Sur Consuelo Abscisa 10 (Nivel 240)	0	0	20,6	0,4	0,2
8	11:00	Tambor corte nivel sur santa barbara (nivel 240)	0	0	20,4	0,4	0,4
9	11:10	Nivel sur santa barbara (nivel 240)	0	0	20,4	0,4	0,4
10	11:25	Ducto de ventilacion nivel sur cuartas (nivel 240)	0	0	20,8	0,1	0
11	12:00	Tambor corte sur nivel cuartas (nivel 240)	0	0	20,2	0,35	0,3
12	12:10	Nivel bolas norte abcs 20 comunicacion (nivel 240)	0	0	20,9	0,1	0,2
14	12:40	Ducto de ventilacion nivel bolas (nivel 240)	0	0	20,7	0,1	0
15	12:50	Ducto corte sur nivel bolas (nivel 240)	0	0	20,8	0,1	0

Tabla 27.(Continuación) Medicion de gases y Volumen de CH4 mina Inversiones Siatoba.

VOLUMEN DE METANO									
MINA INVERSIONES SIATOBA									
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Nivel Norte Bolas Com/cion Mina A. Quiroga (Nivel 180)	1,144	0,1	2,136	2,445	146,7	211,248	6337,44	76049,28
	Aire Comprimido				0,098	5,88	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Consuelo (Abcisa 10)	0,944	0,6	2,688	2,539	152,34	1316,218	39486,528	473838,336
TOTAL							1527,47	45823,97	549.887,62

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.7. Mina La Jabonera 1 y 2.

La mina Jabonera 1 y 2 actualmente produce aproximadamente 394 Ton/mes en tres turnos de trabajo: turno A de 6 a.m. a 2 p.m., turno B de 2 p.m. a 10 p.m. y turno C de 10 p.m. a 6 a.m. donde laboran 19, 8 y 4 personas bajo tierra respectivamente.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 25 Kg de Indugel permisible y 100 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de las minas Jabonera 1 y 2. (**Tabla 28**)

Tabla 28. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Jabonera 1 y 2.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
En Jabonera 1 inclinado principal de 380 metros a partir del inclinado de avanzan niveles de 350 m. en jabonera 2 inclinado principal de 275 metros a partir del inclinado se avanza niveles de 270 metros , se tiene una cruzada en roca de 20 m para llegar a manto 7.	Se avanzan tambores de 35 metros comunicando nivel superior con nivel inferior, estos de avanzan cada 5 metros.	El método de explotación es tajo corto dejando 5 metros de machón de protección en el nivel superior e inferior, el arranque se realiza en forma descendente.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, puerta alemana en inclinados y niveles, cuadros y tacos con cabecera en zonas de explotación.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina la jabonera 1 y 2. (**Tabla 29**).

Tabla 29. Medicion de gases y volumen CH4 mina Jabonera 1 y 2.

MEDICION DE METANO							
MINA JABONERA BM1							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	9:00	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	9:10	Inclinado de Transporte 1 (Abscisa 30)	0	0	20,5	0,3	0
3	9:20	Ducto de ventilacion Nivel 120 Superior Cruzada a 7 Bancos	0	0	20,9	0	0
4	9:30	Inclinado de Transporte 1 (Abscisa 100)	0	0	20,4	0,35	0
5	9:40	Sobreguia Sur 150 Cisquera 2	0	0	20,9	0	0
6	9:50	Tambor Sobreguia Sur 180 (Abscisa 13)	0	0	20,9	0	0
7	10:00	Sobreguia Sur 222 Cisquera 2	0	0	20,4	0,2	0
8	10:10	Tambor Sobreguia Sur 222 Cisquera 2 (Abscisa 13)	0	0	20,8	0,05	0
9	10:20	Inclinado de Transporte 1 (Abscisa 210)	0	0	20,3	0,8	0
10	10:30	Sobreguia Norte 90 Cisquera 2 (Abscisa 25)	0	0	20,4	0,2	0
11	10:40	Inclinado de Transporte 1 (Abscisa 250)	0	0	20	0,8	0
12	10:50	Tambor N. 261 Sur superior Cisquera 2 (Abscisa 14)	0	0	20,8	0,05	0
13	11:00	Tambor N. 261 Norte superior Cisquera 2 (Abscisa 60)	0	0	19,8	1,2	0
14	11:10	Inclinado de Transporte 1 (Abscisa 280)	0	0	20,1	0,9	
15	11:20	Tambor Nivel 295 Sur inferior Cisqu 2 (Abscisa 15)	0	0	20,1	0,85	0
16	11:30	Tambor N. 295 Norte Inferior Cisquera 2 (Abscisa 20)	0	0	20	1,1	0
17	11:40	Tambor N. 295 Norte Inferior Cisquera 2 (Abscisa 60)	0	0	20	1	0
18	11:50	Tambor Nivel Sur Inferior Cisquera 2 (Abscisa 14)	0	0	20,1	0,9	0

MEDICION DE METANO							
MINA JABONERA BM1							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
19	12:00	Inclinado de Transporte 1 (Abscisa 310)	0	0	20,2	0,95	
20	12:10	Ducto de ventilacion Nivel 320 inferior Norte Cisquera 2	0	0	20,9	0	0
21	12:20	Ducto de Ventilacion Fondo Inclinado 1(Abscisa 334)	0	0	20,9	0	0
22	12:40	Ducto ventilacion Corte Sur inferior Sur Cisquera 2	0	0	20,9	0,20	0
23	13:30	Tambor de Ventilacion Sur BM 1 - 80 mts Superficie	0	0	20,9	0	0
24	13:50	Tambor de Ventilacion Norte BM 1, a 8 mts Superficie	0	0	20,3	0,7	0,3
MEDICION DE METANO							
MINA JABONERA BM2							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	8:00	Aforo Superficie	45,2	0	0	20,9	0
2	8:30	Inclinado de Transporte 2 (Abscisa 170)	94,8	0	0	20,2	0,2
3	8:40	Tambor de ventilacion Sobreguia Sur (abscisa 170)	89,5	0	0	20,4	0
4	8:55	inclinado de transporte 2 (abscisa 200)	90,3	0	0	20,2	0,25
5	9:10	Tambor Ventilacion Nivel Sur Superior (Abscisa 15)	90,8	0	0	20,5	0
6	9:30	inclinado de transporte 2 (abscisa 230)	90,3	0	0	20,2	0,25
7	9:50	Inclinado de Transporte 2 (Abscisa 260)	92,6	0	0	20,2	0,2
8	10:10	Tambor Ventilacion Nivel Sur Inferior (Abscisa 15)	85,6	0	0	20,2	0,1
9	10:30	Ducto 1 Ventilacion Sur Cisqu 2 Inferior frente	46,1	0	0	20,9	0

MEDICION DE METANO									
MINA JABONERA BM1									
N	Hora	Punto de Medida			Gases				
					CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
10	10:45	Ducto 2 Ventilacion Fondo de Inclinado			47,3	0	0	20,6	0
11	11:15	Inclinado de Transporte 2 (Abscisa 15)			80,4	0	0	20,9	0
12	11:45	Tambor de Ventilacion Sur BM 2 - Superficie			58,9	0	0	20,9	0
VOLUMEN DE METANO									
MINA JABONERA BM1									
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Tambor de Ventilación Sur BM 1 - Superficie	2,043	0	0,616	1,266	75,96	0	0	0
	Ventilador Principal 9 HP		0		1,021	61,26	0	0	0
	Ventilador Principal 6,6 HP		0		0,761	45,66	0	0	0
	Aire Comprimido		0		0,0585	3,51	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado 1 (Abscisa 30)	0,886	0,3	3,06	2,71	162,6	11,71	351,22	4.214,59
	Tambor de Ventilación Norte Superficie - BM1	0,957	0,7	0,42	0,398	23,88	4,01	120,36	1.444,26
TOTAL							15,72	471,57	5.658,85
VOLUMEN DE METANO									
MINA JABONERA BM2									
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Ventilador Principal 10 HP				0,64	38,4	0	0	0
	Ventilador Principal 5,8 HP				0,371	22,26	0	0	0

MEDICION DE METANO										
MINA JABONERA BM1										
N	Hora	Punto de Medida				Gases				
						CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
		Tambor de Ventilación Sur Superficie - BM2	0,871	0	0,795	0,69	41,4	0	0	0
		Aire Comprimido				0,058	3,48	0	0	0
	SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado 1 (Abscisa 15)	0,671	0	2,626	1,764	105,84	0	0	0
TOTAL								0	0	0

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.8. Mina Rinconcito

Actualmente produce aproximadamente 2340 Ton/mes en un turno de trabajo de 6 a 2 p.m. con 39 personas laborado bajo tierra.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 360 Kg de Indugel permisible y 667 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de las minas Rinconcito. (**Tabla 30**).

Tabla 30. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Rinconcito

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Inclinado principal de transporte a partir de allí se hacen niveles 400 metros al norte y 100 metros al sur, nivel 3 Zuncho Aliso actual longitud 65 m y nivel consuelo 305 m, en el nivel 4 Cisquera 1 de 40 m, tesoro de 50m. desde la cruzada principal abscisa 14 está el nivel consuelo de 120m	Se avanza tambor inicial en la totalidad de la cuelga (58m) comunicando nivel superior con nivel inferior, luego se siguen avanzando tambores cada 6 a 7 m.	La explotación se realiza por tajo corto dejando 4 metros de protección en el nivel superior y 5 metros en el nivel inferior.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, puerta embombonada en niveles y cuadro boca de pescado en inclinados y tambores., cuadros y tacos con cabecera en zonas de explotación.

Según el decreto 1886 de 2015 la mina está clasificada como categoría III. A continuación se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina el Rinconcito. (Tabla 31).

Tabla 31. Medición de gases y volumen CH4 mina Rinconcito

MEDICION DE GASES							
Mina El Rinconcito S.A.S.							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	7:50	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9	0	0
2	8:00	Inclinado de Transporte (Abscisa 20) Entrada aire Fresco	0	0	20,9	0	0
3	8:20	Cruzada 2 entre Consuelo - Zuncho de Gemela	0	0	20,2	0	0,3
4	8:30	T.V. Zuncho de Gemela Salida Aire Nivel 2 a Nivel 1	0	0	20,4	0,35	0,42
5	8:40	T.V. Zuncho de Gemela Salida Aire A Nivel 2 de Nivel 3	0	0	20,1	0,4	0,3
6	8:50	Nivel Norte 2 Sta. Barbara (Abscisa 10)	0	0	19,9	0,2	0,3
7	9:10	Cruzada 2 entre Santa Barbara - Planta de Soda	0	0	20,1	0,2	0
8	9:20	T. V. Planta Soda Salida Aire Cruzada Nivel 2 a Nivel 1	0	0	19,5	0,15	0,7
9	9:30	Tambor Salidero Corte sur zuncho de aliso nivel 2	0	0	20,1	0,3	0,35
10	9:40	T.V. Zuncho de Cisquera Salida Aire de Nivel 3 a Nivel 2	0	0	20,3	0,2	0,3
11	9:50	Tambor Salidero Corte sur Consuelo Nivel 2	0	0	20,1	0,3	0,35
12	10:00	Inclinado de Transporte (Abscisa 240)	0	0	20,9	0	0,3
13	10:10	Tambor Subidero Corte sur Consuelo nivel 3	0	0	20,1	0,3	0,35
14	10:20	Nivel Norte 3 Consuelo (Abscisa 10)	0	0	20,5	0	0,3
15	10:30	Nivel Norte 3 Consuelo (Abscisa 25)	0	0	20,1	0,35	0,4

16	10:40	Tambor Salidero Corte Norte Consuelo Nivel 3	0	0	20,1	0,3	0,35
17	10:50	Diagonal Z. Gemela Deposito Nivel 300 a 270	0	0	20,4	0,1	0,3
18	11:00	Tambor Ventilacion Zuncho Gemela Cruzada 3 a 2	0	0	20,7	0	0,3
19	11:10	Cruzada 3 entre Zuncho de Gemela - Santa Barbara	0	0	20,9	0	0,35
20	11:20	Nivel Norte 3 Sta. Barbara (Abscisa 50)	0	0	20,4	0	0,3
21	11:30	Tambor Santa Barbara Nivel 4 a Nivel 3 Norte	0	0	20,1	0,3	0,4
22	11:40	Tambor 1 Subidero Consuelo Norte Nivel 3 a Nivel Mina La Mana	0	0	20,4	0,3	0,3
23	11:50	Tambor 2 Subidero Consuelo Norte Nivel 3 a Nivel Mina La Mana	0	0	20,4	0,35	0,3
24	12:00	Nivel Norte Comunicación con Mina La Mana	0	0	20	0,2	0,55
25	12:10	Tambor Norte Consuelo 2 Comunicación con Mina La Mana	0	0	19,9	0,15	0,38
26	12:20	Tambor Subidero Corte sur zuncho de aliso nivel 3	0	0	20,1	0,3	0,35
27	12:30	Ventana Tesoro Nivel 3 (Abscisa 15) - Descuñe Milagro Inf 4	0	0	20	0,15	0,4
28	12:40	Tambor Ventilacion Planta Soda Cruzada Nivel 3 a Nivel 2	0	0	20,4	0,2	0,35
29	12:50	Inclinado de Transporte (Abscisa 280)	0	0	20,9	0	0,3
30	13:00	Tambor Ventilacion Z. Gemela Deposito Nivel 300 a 270	0	0	20,4	0,2	0,3
31	13:10	Nivel Norte 4 Consuelo (Abscisa 10)	0	0	20,6	0	0,3
32	13:20	Nivel Norte 4 Consuelo (Abscisa 40)	0	0	20,6	0	0,3
33	13:30	Tambor Subidero Corte Norte Consuelo nivel 4	0	0	20,4	0,3	0,3
34	13:40	Cruzada 4 entre Consuelo - Santa Barbara	0	0	20,9	0	0,35
35	13:50	Nivel Norte 1 Consuelo (Abscisa 8)	0	0	20,8	0	0
36	14:00	T. V. Planta Soda Salida Aire arriba de Cruzada Nivel 1	0	0	19,5	0,2	0,5
37	14:10	Tambor Ventilacion Planta Soda Cruzada 150 a Superficie	0	0	19,8	0,35	0,53

38	14:20	T.V. Zuncho de Gemela Salida Aire a Superficie Nivel 150	0	0	20,1	0,3	0,7
39	14:35	Tambor Ventilacion Z. Gemela Salida Aire Viciado Superficie	0	0	20	0,2	0,45
40	14:50	Tambor Ventilacion P. Soda Salida Aire Viciado Superficie	0	0	19,7	0,15	0,6

Tabla 34.(Continuación) Medición de gases y volumen CH4 mina Rinconcito

VOLUMEN DE METANO									
Mina El Rinconcito S.A.S.									
OBSERVACIONES	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m²)	Q m³/seg	Q m³/min	VOL CH4/DIA (m3/día)	VOL CH4/MES (m3/mes)	VOL CH4/AÑO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado de Transporte (Abscisa 8) Entrada aire Fresco	1,471	0	2,556	3,76	225,6	0	0	0
	Aire Comprimido				0,401	24,06	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Nivel Norte Comunicación con Mina La Mana	0,465	0,2	1,537	0,71	42,6	122,688	3680,64	44167,68
	Tambor Ventilación P. Soda Salida Aire Viciado Superficie	2,657	0,2	0,765	2,03	121,8	350,784	10523,5	126282,24
	Tambor Ventilación Z. Gemela Salida Aire Viciado Superficie	1,4	0,2	1,009	1,41	84,6	243,648	7309,44	87713,28
TOTAL							717,12	21513,6	<u>258.163,2</u>

4.6.2.1.9. Mina El Curubo.

La mina El Curubo produce 300 Ton/mes en dos turnos de trabajo de 6 a.m. a 2 p.m. y de 2 p.m. a 10 p.m. laborando 4 y 3 personas bajo tierra respectivamente.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 25 Kg de Indugel permisible y 40 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de las minas El Curubo (**Tabla 32**).

Tabla 32. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina El Curubo.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Inclinado desarrollado por el Manto tercera, nivel de 21 m, cruzada Norte hacia manto Cuarta y Consuelo, cruzada sur hacia manto bolas y Pedro.	Se avanza tambor en el buzamiento de 65 metros hasta conectar nivel inferior con nivel superior, diagonal al corte de explotación con longitud de 5 metros para trasladar tecla de descargue del tambor anterior y suministros	La explotación se realiza por tajo corto dejando 3 metros de protección en el nivel superior y 3 metros en el nivel inferior.

Fuente. Uniminas y consultor.

El sistema de transporte funciona de la siguiente manera: en el tajo el carbón arrancado cae por gravedad a la tecla de descargue donde está ubicada una vagoneta de 1 Ton, en el nivel de transporte esta es empujada manualmente hasta la tolva ubicada cerca al inclinado y por medio de teclas de descargue se carga al Skip ubicado en el inclinado y de allí sale a superficie.

El sostenimiento se realiza con madera, puerta alemana en niveles y cuadro en inclinados y tambores, tacos con cabecera en zonas de explotación y sostenimiento natural en cruzadas.

Según el decreto 1886 de 2015 la mina es clasificada como grado II corresponde a minas o frentes débilmente grisutuosas. A continuación, se muestra el contenido de metano y el volumen de metano para la mina el Curubo. (Tabla 33)

Tabla 33. Medición de gases y volumen de CH₄ mina El Curubo.

MEDICION DE GASES							
MINA EL CURUBO							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H ₂ S (ppm)	O ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
1	9:45	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	10:00	Inclinado Principal 3ra (Abscisa 7)	0	0	20,4	0,15	0,45
3	10:20	Inclinado Principal 3ra (Abscisa 340)	0	0	20,4	0,1	0,35

MEDICION DE GASES									
MINA EL CURUBO									
N	Hora	Punto de Medida			Gases				
					CO (ppm)	H ₂ S (ppm)	O ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
4	10:30	Ventilador Cruzada a Bolas Com/cion Tunel			0	0	20,9	0,15	0
5	10:50	Cruzada de Tercera a Bolas Nivel 370			0	0	20,9	0,15	0
6	11:10	Diagonal v. tercera Nivel 4 (370) a 3 (320)			0	0	19,8	0,1	0,6
7	11:20	Nivel 370 Sur 3ra Entre Inclinado y Diagonal			0	0	20,9	0,15	0
8	11:30	Ducto de ventilacion Sur manto Cuarta			0	0	20,9	0,1	0
9	12:00	Ducto de ventilacion norte manto Consuelo			0	0	20,9	0,1	0
10	12:20	Ducto de ventilacion Sur manto Consuelo			0	0	20,9	0,1	0
VOLUMEN DE METANO									
MINA EL CURUBO									
OBSE	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH ₄ (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m ³ /dia)	PRODUCCION DE METANO (m ³ /mes)	PRODUCCION DE METANO (m ³ /año)
ENTRADA DE CAUDAL	Ventilador Cruzada a Bolas Com/cion Tunel	3,667	0,15	0,554	2,032	121,92	263,3472	7900,416	94804,992
	Aire Comprimido				0,096	5,76	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Principal 3ra (Abscisa 7)	0,667	0,15	3,185	2,123	127,38	275,1408	8254,224	99050,688
TOTAL							538,488	16154,64	<u>193.855,68</u>

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.10. Mina Los Pinos.

La mina Los Pinos produce 450 Ton/mes en dos turnos de trabajo de 6 a.m. a 2 p.m. y de 2 p.m. a 10 p.m. laborando 6 y 2 personas bajo tierra respectivamente.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 17 Kg de Indugel permisible y 34 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de las minas Los Pinos (*Tabla 34*)

Tabla 34. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Los Pinos.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION
Inclinado desarrollado por el Manto Cisquera 2 de 260 metros, nivel por cisquera 2 de 12 m, cruzada hacia manto Zuncho 1 y 2 con 30 metros, nivel norte a manto Zuncho 2 de 200 metros.	Se avanza tambor en el buzamiento de 45 metros hasta conectar nivel inferior con nivel superior, diagonal al corte de explotación con longitud de 5 metros para trasladar tecla de descargue del tambor anterior y suministros.	La explotación se realiza por tajo corto dejando 3 metros de protección en el nivel superior y 3 metros en el nivel inferior. Explotación en avance y en forma descendente.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, puerta alemana en niveles y cuadros en inclinados y tambores, tacos con cabecera en zonas de explotación y sostenimiento natural en cruzadas.

Para el control de polvos se tienen aspersores bajo tierra. Según el decreto 1886 de 2015 la mina es clasificada como grado II corresponde a minas o frentes débilmente grisutuosas. A continuación, se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina Los Pinos. (*Tabla 35*)

Tabla 35. Características de ventilación y contenido de CH4 mina Los Pinos.

MEDICION DE GASES							
MINA LOS PINOS							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	8:10	Aforo Superficie (Aire Normal)	0	0	20,9	0	0
2	8:20	Inclinado Cisquera 2 (Abscisa 20)	0	0	20,9	0,2	0
3	8:40	T.V. Nivel 75 Vidriosa a Nivel 45 Sur	0	0	19,9	0	0,35
4	9:00	Inclinado Cisquera 2 (Abscisa 100)	0	0	20,9	0,2	0
5	9:10	T.V. Nivel 117 Vidriosa a Nivel 75 Norte	0	0	19,9	0	0,48
6	9:30	T.V. Nivel 117 Zuncho 2 a Nivel 45 Norte	0	0	20,5	0	0,3

MEDICION DE GASES									
MINA LOS PINOS									
N	Hora	Punto de Medida			Gases				
					CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
7	9:45	Inclinado Cisquera 2 (Abscisa 175)			0	0	20,6	0,2	0
8	10:00	Ducto Frente Norte Inferior Cisquera 2			0	0	20,9	0	0
9	10:20	Ducto Frente Fondo de Inclinado			0	0	20,7	0	0
10	10:40	Cruzada a zuncho 1 (abscisa 190)			0	0	20,4	0	0
11	10:50	Ducto Frente Norte Zuncho 1			0	0	20,5	0	0
12	11:10	Ducto Frente Corte Norte Zuncho 1			0	0	20,4	0	0
13	11:25	Ducto Frente Sur Zuncho 1			0	0	20,5	0	0
14	11:40	Ducto Frente Corte Sur Zuncho 1			0	0	20,4	0	0
15	12:00	T.V. Nivel sur 190 Zuncho 2 a Nivel 148 Norte			0	0	20,9	0	0,21
16	12:20	T.V. Nivel 148 Zuncho 2 a Nivel 117 Norte			0	0	20,4	0	0,3
17	12:50	T.V.Norte Z. 2 Cisquera 2 - Superficie Botadero			0	0	20,1	0,05	0,4
18	13:15	T.V.Norte Z. 2 Cisquera 2 - Superficie Loma			0	0	19,8	0	0,45
19	13:40	T.V. Sur Zuncho de Siete Bancos - Superficie			0	0	19,7	0,1	0,45
VOLUMEN DE METANO									
MINA LOS PINOS									
OBSERVACION	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	VOL CH4 (m3/dia)	VOL CH4 (m3/mes)	VOL CH4 (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado Cisquera 2 (Abscisa 6)	0,45	0,2	3,08	1,389	83,34	240,0192	7200,576	86406,912
	Ventilador Centrifugo				0,098	5,88	0	0	0

MEDICION DE GASES										
MINA LOS PINOS										
N	Hora	Punto de Medida				Gases				
						CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
		Electrico Superficie e 10 HP								
SALIDAS DE CAUDAL		T.V.Norte Z. 2 Cisquera 2 - Superficie Botadero	1,433	0,05	0,85	1,22	73,2	52,704	1581,12	18973,44
		T.V.Norte Z. 2 Cisquera 2 - Superficie Loma	0,789	0	0,40	0,32	19,2	0	0	0
		T.V. Sur Zuncho de Siete Bancos - Superficie	0,822	0,1	0,54	0,44	26,4	38,016	1140,48	13685,76

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.11. **Mina Tierra Alta**

La mina Tierra Alta produce 520 Ton/mes en un turno de trabajo de 6 a.m. a 2 p.m. laborando 12 personas bajo tierra.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 145 Kg de Indugel permisible y 100 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos. A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Tierra Alta (**Tabla 36**)

Tabla 36. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Tierra Alta.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION
Inclinado avanzado por el manto Siete Bancos con una longitud de 255 metros. Se tiene un nivel de 50 metros por el manto siete bancos y a los 35 metros aproximadamente, se tiene una cruzada hasta el manto Cisquera 2	El nivel de preparación se avanzó en roca y se construyen ventanas al manto.	La explotación se realiza por tajo corto de 40 metros, dejando 3 metros de protección en el nivel superior y 3 metros en el nivel inferior.

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, puerta alemana en niveles y cuadros en inclinados y tambores, tacos con cabecera en zonas de explotación y sostenimiento natural en cruzadas.

Para el control de polvos se tienen aspersores bajo tierra. Según el decreto 1886 de 2015 la mina es clasificada como grado II corresponde a minas o frentes débilmente grisutuosas donde la concentración de metano en cualquier sitio de la mina es inferior o igual a 0,3%. A continuación, se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina tierra alta (**Tabla 37**).

Tabla 37. contenido de gases y volumen de CH4 mina Tierra Alta.

MEDICION DE GASES							
MINA TIERRA ALTA							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	9:00	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9	0	0
2	9:20	Tambor Sur zuncho 1 - Superficie	0	0	20,9	0	0
3	9:40	Inclinado de Transporte (Abscisa 20)	0	0	20,1	0,2	0,4
4	10:00	Tambor de ventilacion zuncho 1 norte - Nivel 252	0	0	20,9	0	0
5	10:15	Tambor de ventilacion zuncho 1 sur - Nivel 252	0	0	20,9	0	0
6	10:30	Cruzada Cisquera 2-Zuncho 1 entre Ventilador y Nivel Zuncho	0	0	20,9	0	0
7	10:45	Nivel Sur 7 bancos (abscisa 252)	0	0	19,8	0,2	0,45
8	11:00	Ducto de ventilacion Frente en Roca Norte	0	0	20,9	0	0
9	11:15	Ducto de ventilacion Corte cisquera sur	0	0	20,7	0	0
10	11:35	Ducto de ventilacion Frente en Roca Sur	0	0	20,7	0	0
11	11:50	Ducto de ventilacion Corte cisquera sur	0	0	20,7	0	0
VOLUMEN DE METANO							
MINA TIERRA ALTA							

MEDICION DE GASES									
MINA TIERRA ALTA									
N	Hora	Punto de Medida			Gases				
					CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
OBSER	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	VOL DE CH4 (m3/dia)	VOL DE CH4 (m3/mes)	VOL DE CH4 (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Tambor de ventilacion manto zuncho 1	2,6	0	0,442	1,149	68,94	0	0	0
	Aire Comprimido				0,064	3,84	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado de Transporte (Abscisa 20)	0,375	0,2	3,231	1,212	72,72	209,4336	6283,008	75396,096
TOTAL							209,433	6283,008	75396,09

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.1.12. Mina Rafael A. Cristancho. Esperanza 2 y 3.

Las minas Esperanza 2 y 3 producen 520 Ton/mes en tres turnos de trabajo de 6:00 a.m. a 2:00 p.m., de 2:00 p.m. a 10:00 p.m. y de 10:00 p.m. a 6:00 a.m., donde laboran 5, 2 y 2 personas respectivamente en Esperanza 2 y en esperanza 3 laboran 3, 4 y 4 personas respetivamente.

Para el avance de niveles y cruzadas se realiza perforación y voladura utilizando mensualmente 145 Kg de Indugel permisible y 98 detonadores. El avance y arranque de carbón se realiza con martillos neumáticos.

A continuación, se describen las labores de desarrollo, preparación y explotación de las minas Esperanza 2 y 3 (**Tabla 38**)

Tabla 38. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Esperanza 2 y 3.

ASPECTOS TECNICOS		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION

<p>Inclinados principales de 320 metros aproximadamente por Zuncho 1 y niveles de 12 metros, cruzada principal de 30 metros a manto Zuncho 2 , Cisquera y 7 Bancos.</p>	<p>Tambores por el buzamiento de 40 metros de longitud hasta los niveles superiores, tambor de acceso en diagonal conectando el tambor de personal.</p>	<p>La explotación se realiza por tajo corto en el avance por el rumbo del manto dejando 3 metros de macho de protección en nivel superior e inferior.</p>
--	---	---

Fuente. Uniminas y Consultor.

El sostenimiento se realiza con madera, puerta alemana en niveles y cuadros en inclinados y tambores, tacos con cabecera en zonas de explotación y sostenimiento natural en cruzadas.

Para el control de polvos se tienen aspersores bajo tierra. Según el decreto 1886 de 2015 la mina es clasificada como grado I corresponde a minas o frentes de trabajo no grisutuosos donde la concentración de metano en cualquier sitio de la mina no alcanza el 0%. A continuación, se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina tierra alta (**Tabla 39**)

Tabla 39. Medicion de gases y volumen de CH4 Minas Esperanza 2 y 3

CONCENTRACION DE METANO							
MINA ESPERANZA 2							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	8:15	Aforo en Superficie Aire normal	0	0	20,9	0	0
2	8:30	Tambor Norte Zuncho 7 Bancos - Superficie	0	0	20,1	0	0,5
3	8:55	Inclinado Transporte Z. 7 Bancos (Abscisa 30)	0	0	20,9	0	0
4	9:20	Inclinado Transporte Z. 7 Bancos (Abscisa 160)	0	0	20,9	0	0
5	9:40	Nivel Norte 150 Zuncho Siete Bancos (Abscisa 5)	0	0	20,9	0	0
6	9:55	Tambor z. 7 bancos abcs 180 nivel vidriosa	0	0	20,9	0	0
7	10:15	Tambor Z. 7 Bancos Nivel 260 a 150	0	0	20,6	0	0
8	10:40	Nivel norte 180 Siete Bancos (abcs 20)	0	0	20,9	0	0,2

CONCENTRACION DE METANO									
MINA ESPERANZA 2									
N	Hora	Punto de Medida	Gases						
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)		
9	10:55	Tambor Subidero Corte Norte Siete Bancos	0	0	19,9	0	0,4		
10	11:15	Tambor Norte Salidero Corte Norte 7 Bancos a 150	0	0	20,4	0	0,3		
VOLUMEN DE METANO									
MINA ESPERANZA 2									
OBSERVACION	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m3/dia)	PRODUCCION DE METANO (m3/mes)	PRODUCCION DE METANO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado Transporte Z. 7 Bancos (Abscisa 30)	0,33	0	2,98	0,985	59,1	0	0	0
	Aire Comprimido				0,051	3,06	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Tambor Norte Zuncho 7 Bancos - Superficie	1,743	0	0,594	1,037	62,22	0	0	0
TOTAL							0	0	0
Medicion de gases y volumen de CH4 Minas Esperanza 3									
MEDICION DE GASES									
MINA ESPERANZA 3									
N	Hora	Punto de Medida	Gases						
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)			
1	8:30	Aforo Superficie Aire Normal	0	0	20,9	0			
2	8:50	Cruzada Superficie a Inclinado Zuncho 2	0	0	20,9	0			
3	9:10	Inclinado Zuncho 2 (Abscisa 4)	0	0	19,7	0,05			
4	9:30	Inclinado Zuncho 2 (Abscisa 50)	0	0	20,9	0			

CONCENTRACION DE METANO										
MINA ESPERANZA 2										
N	Hora	Punto de Medida				Gases				
						CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
5	9:50	Inclinado Zuncho 2 (Abscisa 100)				0	0	20,9	0	
6	10:20	Tambor zuncho 2 carmen 2 - Subidero				0	0	20,9	0	
7	10:30	Tambor zuncho 2 carmen 2 - Tecla				0	0	20,9	0	
8	10:45	Tambor zuncho 1 Nivel 200 a Corte Inferior				0	0	20,9	0	
9	11:00	Inclinado de Transporte Zuncho 2 (Abscisa 220)				0	0	20,4	0,15	
10	11:25	Ducto de ventilacion nivel norte cisquera 2				0	0	20,8	0	
11	11:35	Ducto de ventilacion Corte norte cisquera 2				0	0	20,8	0	
12	13:00	Nivel Carmen 2 (Entrada de Aire Fresco)				0	0	20,9	0	
VOLUMEN DE METANO										
MINA ESPERANZA 3										
OBSERVACION	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m3/dia)	PRODUCCION DE METANO (m3/mes)	PRODUCCION DE METANO (m3/año)	
ENTRADA DE CAUDAL	Cruzada Superficie a Inclinado Zuncho 2	0,714	0	2,596	1,854	111,24	0	0	0	
	Nivel Carmen 2 (Entrada de Aire Fresco)	1,2	0	0,895	1,074					
	Aire Comprimido				0,055	3,3	0	0	0	
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Zuncho 2 (Abscisa 4)	1,1	0,05	2,72	2,99	179,4	129,168	3875,04	46500,48	
TOTAL							129,168	3875,04	46500,48	

Fuente. Uniminas y Consultor.

4.6.2.2. PROMINCARG. S.A.S. – Zonas Sur y Centro.

Descripción técnica y de la ventilación: En el área de Promincarg se producen cerca de 13.976 ton/mes (información suministrada por la empresa). Las minas del centro y sur del área que reportan la mayor producción de gas metano producen entre 42 y 1000 toneladas/ mes de carbón. (**Tabla 40**)

Para determinar las condiciones atmosféricas y de ventilación de las minas se contó con información suministrada por Promincarg, complementada con información colectada por el consultor en visitas de campo. Se tomaron datos de caudal y concentración de gases.

Tabla 40. Mantos y producción de las minas, zonas centro – sur de Promincarg.

NOMBRE DE A MINA	MANTOS	PERSONAL BAJO TIERRA	PRODUCCION (TON/MES)
BOCATOMA	Manto Bocatoma	8	857
MINA EL VOLCAN-EL MORTIÑO	Cisquera Siete Bancos.	15	137
LA MANA	Manto Aliso, Manto Cisquera Manto Tesoro Manto Tesorito Manto Milagro	38	1.200,00
CANALES	Manto Perdida Manto Zuncho 2	16	103
SIETE BANCOS – NELSON GIL	Mina cerrada definitivamente por		

Fuente. Promincarg.

La empresa tiene un gerente general y un ingeniero de minas y un técnico en minas que hacen la planeación y la supervisión de operaciones de las diferentes minas.

En temas de SG-SST, todas las minas cuentan con un sistema de procedimiento seguros y personal capacitado en estos temas. Cuentan con un técnico en SST quien lleva el SG-SST de la mina. Se realiza la medición continua de gases (O₂, CH₄, CO, CO₂ Y H₂S), tiene tableros de control bajo tierra y en superficie, el circuito de ventilación es forzada.

Los métodos de explotación utilizados son: ensanches de tambores y tajo corto.

El sistema de transporte a nivel general funciona de la siguiente manera: el carbón arrancado cae por gravedad a la tecla de descargue donde está ubicada una vagoneta en la guía, esta es empujada manualmente hasta el inclinado principal de allí es halada a superficie, por medio de un malacate.

A continuación, se realiza una descripción de los aspectos técnicos más relevantes de cada una de las minas ubicadas en la zona centro sur del área del contrato donde se encuentran las concentraciones más altas de metano.

4.6.2.2.1. Minas El Volcán – El Mortiño.

La mina el volcán se encuentra comunicada con la mina el mortiño por medio del nivel cisquera norte.

La mina el volcán actualmente produce cerca de 20 Ton/mes ya que sus trabajos están dirigidos a realizar labores de mantenimiento de inclinados y niveles para lo cual cuentan con 9 trabajadores. A continuación, se hace una descripción de las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina así como el arranque. (*Tabla 41*)

Tabla 41. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la minas El Volcán-El Mortiño.

ASPECTOS TECNICOS			
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION	ARRANQUE
Las labores de acceso son inclinado, niveles y cruzadas.	Como labor de preparación se encuentran galerías que delimitan el bloque a explotar continuidad cada 10 metros.	el sistema de explotación es ensanche de tambores. El arranque del carbón se realiza con martillos neumáticos.	el arranque en roca se realiza por perforación y voladura usando 6 a 7 Kg mes de indugel permisible, el arranque y avance en carbón se realiza con martillo neumático.

Fuente. Promincarg - consultor

Dentro de las labores de desarrollo cuenta con un inclinado principal que sirve como vía de transporte de mineral y entrada y salida de trabajadores; a partir del inclinado se avanzan niveles los cuales comunican con las labores de preparación de las minas.

Como labor de preparación se encuentran galerías que delimitan el bloque a explotar, con una continuidad cada 10 metros, el sistema de explotación es ensanche de tambores. El arranque del carbón se realiza con martillos neumáticos.

El sostenimiento en la mina el volcán es de ensamble cuadro boca pescado, sencillo en el inclinado, en los niveles siete bancos y cisquera norte se utiliza puerta embombonada, en el corte norte cisquera se entiba con taco y cabecera.

Se cuenta con una red eléctrica dentro de la mina la de 440 voltios que se realiza por arrancador de seguridad desde superficie.

La mina el Mortiño produce 117 Ton/mes en tres turnos de trabajo de 8 horas, con 16 trabajadores igual que la mina El Volcán trabajan el método de explotación por ensanche de tambores.

El sostenimiento que utiliza la mina el Mortiño es el siguiente: En el inclinado se encuentra sostenimiento puerta tipo alemana doble diente y cuadro corte boca pescado, en los niveles se cuenta con un sostenimiento en madera tipo puerta alemana diente sencillo.

Se cuenta con una red eléctrica a 440v con cable encauchetados y motores convencionales para electrobombas y ventiladores.

El circuito de ventilación de la mina El Volcán - El Mortiño es el siguiente: El aire limpio ingresa por el inclinado de la mina el volcán el cual se desplaza por el nivel 7 bancos direccionado por una cruzada la cual comunica con el nivel cisquera norte que comunica con la mina el Mortiño, por el tambor de esta mina sale el aire viciado, allí a los 200 m se encuentra un extractor que “saca” el aire viciado, esto con el objeto que todo el aire viciado salga por el inclinado.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III Minas o Frentes fuertemente grisutuosas donde las concentraciones de metano en cualquier zona de la mina pueden superar el 0,3%.

A continuación se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina El Volcán – El Mortiño. (**Tabla 42**).

Tabla 42. Características de ventilación y presencia de CH4 en la mina El Volcán-el Mortiño.

MEDICION DE GASES							
MINA BM VOLCAN							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	9:00	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	9:10	Inclinado de Transporte Siete Bancos (Abscisa 15)	0	0	20,9	0	0
3	9:20	Inclinado de Transporte Siete Bancos (Abscisa 220)	0	0	20,9	0	0
4	9:30	Inclinado de Transporte Siete Bancos (Abscisa 250)	0	0	20,4	0,3	0
5	9:40	Ducto Ventilacion Fondo del Inclinado Siete Bancos	0	0	20,9	0	0
6	9:50	Inclinado de Transporte Siete Bancos (Abscisa 270)	0	0	20,5	0,15	0
7	10:00	Ducto Ventilacion Frente Norte Inferior Siete Bancos	0	0	20,8	0	0
8	10:10	Nivel Norte Inferior Siete Bancos (Abscisa 10)	0	0	20,4	0,3	0
MINA BM EL MORTIÑO							
10	10:40	Nivel Comunicación Sur con Mina El Volcan	0	0	20,9	0,26	0
11	10:50	Ducto Ventilacion Frente Norte Siete Bancos Superior	0	0	20,6	0,25	0
12	11:00	Ducto Ventilacion Frente Sur Siete Bancos Superior	0	0	20,6	0,2	0
13	11:10	Cruzada de Cisquera 2 a Siete Bancos	0	0	20,4	0,3	0
14	11:20	Nivel Sur Superior Cisquera 2 Cerca de Ventiladores	0	0	20,7	0,15	0
15	11:30	Nivel Sur Superior Cisquera 2 Entre Cruzada – Ventiladores	0	0	20,8	0,1	0
16	11:40	Nivel Sur Superior Cisquera 2 (Abscisa 15)	0	0	20,5	0,2	0

MEDICION DE GASES								
MINA BM VOLCAN								
N	Hora	Punto de Medida	Gases					
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	
17	11:50	Ducto Ventilacion Frente Sur Cisquera 2 Inferior	0	0	20,7	0,18	0	
18	12:00	Nivel Sur Inferior Cisquera 2 (Abscisa 12)	0	0	20,3	0,3	0	
19	12:10	Inclinado Transporte Entre Nivel Superior - Inferior	0	0	20,6	0,35	0	
20	12:20	Inclinado Transporte Cisquera 2 (Abscisa 20)	0	0	20,3	0,7	0,35	

Tabla 45. (Continuación) Características de ventilación y presencia de CH4 en la mina El Volcán-el Mortiño.

VOLUMEN DE METANO									
MINA EL VOLCAN EL MORTIÑO									
OBSE	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m3/dia)	PRODUCCION DE METANO (m3/mes)	PRODUCCION DE METANO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado de Transporte Siete Bancos (Abscisa 15)	1,4	0	2,66	3,73	223,8	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Transporte Cisquera 2 (Abscisa 20)	1,2	0,7	3,1	3,72	223,2	2249,856	67495,68	809948,16
TOTAL							2249,856	67495,68	809948,16

Fuente. Promincarg-Consultor

4.6.2.2.2. Mina La Mana.

La mina La Mana produce cerca de 1.200 Ton/mes en tres turnos de trabajo, turno A de 7 a.m. a 3 p.m., Turno B de 3 p.m. a 11 p.m. y Turno C de 11 p.m. a 7 a.m. A continuación se hace una descripción de las labores de desarrollo, preparación, explotación y arranque de la mina. (**Tabla 43**).

Tabla 43. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina La Mana.

ASPECTOS TECNICOS			
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLOTACION	ARRANQUE
Dentro de las labores de desarrollo cuenta con un inclinado principal que sirve como vía de transporte de mineral entrada y salida de trabajadores, a partir del inclinado de avanzan niveles los cuales comunican con las labores de preparación de la minas.	Como labor de preparación se encuentran galerías que delimitan el bloque a explotar continuidad cada 10 metros.	El sistema de explotación es ensanche de tambores. El arranque del carbón se realiza con martillos neumáticos.	Para el avance en roca en niveles se utilizan 100 Kg/mes de indugel y 200 detonadores realizando aproximadamente 20 voladuras mensualmente, el arranque del carbón se realiza con martillos neumáticos.

Fuente. Promincarg y Consultor.

El sistema de transporte funciona de la siguiente manera: el carbón arrancado cae por gravedad a la tecla de descargue donde está ubicada una vagoneta en la guía, esta es empujada manualmente hasta la tolva interna de 14 Ton en el inclinado principal, posteriormente al skip y luego es halada a la superficie por un malacate.

Para el sostenimiento en la mina La Mana se emplean puertas en cuadro con corte boca pescado, en los niveles puerta embombonada, en tambores cuadro completo, en las zonas de explotación escaleras.

La mina presenta una red eléctrica con cable encauchetado, arrancadores intrínsecos y electrobombas convencionales..

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina La Mana. (**Tabla 44**).

Tabla 44. Medicion de gases y volumen de CH4 mina La Mana.

MEDICION DE GASES							
MINA LA MANA							
N	Hora	Punto	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	10:00	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	10:10	Tambor Sur Ventilacion Aliso Cerca de Superficie	0	0	20,9	0	0
3	10:20	Tambor Sur Ventilacion Aliso Cerca de 1er Nivel Aliso	0	0	20,9	0	0
4	10:30	Ducto Ventilacion Frente Norte Tesoro Superior	0	0	20,9	0	0
5	10:40	Nivel Norte Tesoro Superior (Abscisa 20)	0	0	20,5	0,23	0,21
6	10:50	Nivel Sur Superior Z. Cisquera 1 Entre Inclinado y Cruzada	0	0	20,6	0,16	0,1
7	11:00	Inclinado Transporte Entre Nivel Superior E Inferior	0	0	20,4	0,2	0,1
8	11:10	Nivel Sur Inferior Z. Cisquera 1 Entre Inclinado y Tetero	0	0	20,6	0,16	0,1
9	11:20	Nivel Sur Inferior Z. Cisquera 1 Entre tetero y Cruzada	0	0	20,6	0,16	0,1
10	11:30	Cruzada Sur Entre Zuncho 1 de Cisquera 1 y Cisquera 1	0	0	20,5	0,1	0,25
11	11:40	Cruzada Sur Entre Zuncho 1 de Cisquera 1 y Tesoro	0	0	20,5	0,1	0,25
12	11:50	Ducto Ventilacion Frente Norte Tesoro Inferior	0	0	20,9	0	0
13	12:10	Tambor Norte Subidero a Corte Norte Tesoro	0	0	20,4	0,4	0,2
14	12:20	Ventana Subidero a Corte Norte Tesorito (Milagro)	0	0	20,4	0,4	0,2
15	12:30	Nivel Norte Tesoro Inferior (Abscisa 20)	0	0	20,5	0,23	0,21
16	12:40	Tambor Sur Ventilacion Aliso Cerca de 2do Nivel Aliso	0	0	20,7	0,1	0,16

MEDICION DE GASES									
MINA LA MANA									
N	Hora	Punto	Gases						
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)		
17	12:50	Inclinado Transporte Zuncho de Cisquera 1 (Abscisa 105)	0	0	20,2	0,15	0,38		
18	13:15	Inclinado Transporte Zuncho de Cisquera 1 (Abscisa 20)	0	0	20,3	0,25	0,18		
VOLUMEN DE METANO									
MINA LA MANA									
OBSE	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m3/dia)	PRODUCCION DE METANO (m3/mes)	PRODUCCION DE METANO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Tambor Sur Ventilacion Aliso Cerca de Superficie	1,9	0	0,828	1,57	94,2	0	0	0
	Cruzada Sur Entre Zuncho 1 de Cisquera 1 y Cisquera 1	1,6	0,1	1,8	2,88	172,8	248,832	7464,96	89579,52
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Transporte Cisquera 2 (Abscisa 10)	1,143	0,25	3,9	4,45	267	961,2	28836	346032
TOTAL							1210,032	36300,96	435611,52

Fuente. Promincarg y Consultor.

4.6.2.2.3. Mina Canales.

La mina Canales produce cerca de 103 ton/mes en tres turnos de trabajo, turno A de 7 a.m. a 3 p.m., Turno B de 3 p.m. a 11 p.m. y Turno C de 11 p.m. a 7 a.m.

A continuación, se hace una descripción de las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina así como el arranque. (**Tabla 45**)

Tabla 45. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Canales.

ASPECTOS TECNICOS			
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION	ARRANQUE
Dentro de las labores de desarrollo cuenta con un inclinado principal que sirve como vía de transporte de mineral entrada y salida de trabajadores, a partir del inclinado de avanzan niveles los cuales comunican con las labores de preparación de la minas.	Como labor de preparación se encuentran galerías que delimitan el bloque a explotar	El sistema de explotación es ensanche de tambores.	El arranque en roca se realiza por perforación y voladura y el arranque y avance en carbón se realiza con martillo neumático.

Fuente. Promincarg y Consultor.

El sostenimiento en el inclinado es de ensamble cuadro boca pescado sencillo, se encuentra en buenas condiciones; en su cruzada el sostenimiento es con puerta embombonada y están ubicadas cada 1.30 m, el techo está protegido con forro en madera, en los niveles ponen puerta embombonada cada 1.0 m con protección con forro de techos y laterales.

La mina presenta una red eléctrica con cable encauchetado, arrancadores intrínsecos y electrobombas convencionales.

Cuenta con un circuito de ventilación mixto natural y mecanizado como lo indica el decreto 1886 de 2015, el aire ingresa por el tambor de ventilación aliso sur (manto) hasta el nivel inferior, de allí el aire es enviado a los diferentes frentes de trabajo por medio de ventilación mecanizada, el aire viciado es extraído por el inclinado

principal. La mina cuenta con cinco ventiladores centrífugos (2 de 12 HP, 1 de 15HP y 1 de 9 HP) y un ventilador axial de 6 HP.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina Canales.

Tabla 46. Medicion de gases y volumen de de CH4 mina Canales.

MEDICION DE GASES							
MINA CANALES							
N	Hora	Punto de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	9:00	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	9:10	Inclinado de Transporte Cisquera 2 (Abscisa 40)	0	0	20,6	0,3	0
3	9:20	Nivel Sur Inferior Cisquera 2 - Estacion de Aforo	0	0	20,7	0,3	0
4	9:25	Tambor Sur Auxiliar Cisquera 2 - Interseccion Nivel	0	0	20,4	0,4	0
5	9:30	Nivel Sur Inferior Cisquera 2 Entre Tambor y Cruzada	0	0	20,6	0,3	0
6	9:40	Ducto Ventilacion Frente Sur Cisquera 2	0	0	20,9	0	0
7	9:45	Cruzada Sur Entre Cisquera 2 y Zuncho 1 de Cisquera 2	0	0	20,4	0,4	0
8	9:50	Nivel Sur Zuncho 2 (Abscisa 10)	0	0	20,3	0,45	0
9	9:55	Ducto Ventilacion Tambor Sur Proyectado a Superficie - Zuncho 2	0	0	20,9	0	0
10	10:10	Ducto Encielado Tambor Sur Proyectado a Superficie - Zuncho 2	0	0	20,9	0	0
11	10:20	Cruzada Sur Entre Zuncho 1 de Cisquera 2 y Zuncho 3	0	0	20,5	0,35	0
12	10:25	Ducto Ventilacion Frente Sur Zuncho 3	0	0	20,9	0	0
13	10:30	Ducto Ventilacion Frente Norte Zuncho 3	0	0	20,9	0	0
14	10:40	Tambor Sur Auxiliar Cisquera 2 - Interseccion Sobreguia	0	0	20,4	0,4	0

15	10:50	Nivel Sur Inferior Cisquera 2 (Abscisa 5)	0	0	20,3	0,3	0		
16	11:10	Inclinado Transporte Cisquera 2 (Abscisa 10)	0	0	20,6	0,3	0		
17	11:20	Tambor Sur Auxiliar Cisquera 2 - Superficie	0	0	20,4	0,4	0		
VOLUMEN DE METANO									
MINA CANALES									
OBSE	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH 4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m3/dia)	PRODUCCION DE METANO (m3/mes)	PRODUCCION DE METANO (m3/año)
ENTRADA DE CAUDAL	Ventilador Centrifugo 9 HP Superficie				1,147	34,41	0	0	0
	Ventilador Centrifugo 6 HP Superficie				0,707	21,21	0	0	0
SALIDAS DE CAUDAL	Inclinado Transporte Cisquera 2 (Abscisa 10)	0,3	0,3	2,99	0,897	26,91	116,2512	3487,536	41850,432
	Tambor Sur Auxiliar Cisquera 2 - Superficie	1,17	0,4	0,818	0,958	28,74	165,5424	4966,272	59595,264
TOTAL							281,7936	8453,808	101445,69

Fuente. Promincarg y Consultor.

4.6.2.2.4. Mina Bocatoma.

La mina Bocatoma produce cerca de 857 ton/mes en dos turnos de trabajo cada uno de 8 horas donde laboran 8 personas.

A continuación, se hace una descripción de las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina así como el arranque. (**Tabla 47**)

Tabla 47. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Bocatoma.

DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION	ARRANQUE
Cuentan con inclinados, niveles y cruzadas como labores de desarrollo	preparación realizan tambores en el rumbo cada 7 metros con el fin de comunicar el nivel inferior con el nivel superior	La explotación se realiza por tajo corto dejando cuelga de 25 metros.	El arranque en roca se realiza por perforación y voladura usando 25,5 Kg de indugel permisible y 50 detonadores, el arranque y avance en carbón se realiza con martillo neumático.

Fuente. Promincarg y Consultor.

El sostenimiento utilizado en bocatoma se aplica de la siguiente manera: Su inclinado cuenta con un sostenimiento tipo cuadro con diente sencillo el cual soporta presiones de techo y en su defecto de laterales cuenta con forro de protección para evitar caída de roca y su área de sección es de 3.68 m².

El tambor de ventilación cuenta con sostenimiento cuadro sencillo con corte boca pescado en cual tiene una sección de área de 0.69m², en los niveles usan puertas tipo embombonada las cuales cuentan con forro en respaldos de techo y laterales, su área tiene una sección aproximada de 3m².

El funcionamiento del circuito de ventilación es de la siguiente manera: el aire limpio Ingresa por el tambor de ventilación y por los ventiladores ya que el tambor debido a la manera que se realizó no tiene depresión y presenta demasiada resistencia lo Cual evita el ingreso de aire limpio por lo que se hace necesario mantener la Atmosfera de la mina con ventilación forzada.

Cuenta con 3 ventiladores: (1 de 12hp, 1 de 9hp en superficie y 1 de 3hp en la abscisa 140m tambor de Ventilación).

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina Bocatoma. (**Tabla 48**)

Tabla 48. medición de gases y volumen de CH4 mina Bocatoma.

OBSERVACION	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH 4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m3/dia)	PRODUCCION DE METANO (m3/mes)	PRODUCCION DE METANO (m3/año)
ENTRADA Y SALIDA DE CAUDAL	INCLINADO BOCATOMA	0,3	0	3	0,9	54	0	0,00	0,00
CAUDAL TOTAL ENTRANTE Q (m ³ /min)							252	PRODUCCION TOTAL DE METANO (m3/año)	0,00

Fuente. Promincarg y Consultor.

4.6.2.2.5. Mina Piedro –Bolas

La mina Bocatoma produce cerca de 225 ton/mes en dos turnos de trabajo cada uno de 8 horas donde laboran un total de 18 personas.

A continuación, se hace una descripción de las labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina así como el arranque. (Tabla 49)

Tabla 49. Labores de desarrollo, preparación y explotación de la mina Bocatoma.

DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION	ARRANQUE
Cuentan con inclinados, niveles y cruzadas como labores de desarrollo	preparación realizan tambores en el rumbo cada 7 metros con el fin de comunicar el nivel inferior con el nivel superior	La explotación se realiza por tajo corto dejando cuelga de 25 metros.	El arranque en roca se realiza por perforación y voladura usando 25 ,5 Kg de indugel permisible y 50 detonadores, el arranque y avance en carbón se realiza con martillo neumático.

Fuente. Promincarg y Consultor.

El sostenimiento del inclinado bolas es de ensamble cuadro boca pescado sencillo y niveles norte y sur de bolas puerta alemana se evidencia en buen estado se recomienda realizar la entibación total de las 2 cruzadas de Piedro a Bolas

El circuito de ventilación que presenta las minas es adecuado ya que están comunicadas entre sí por medio de una cruzada haciendo girar el aire de la siguiente manera: el aire limpio ingresa por el inclinado Bolas suministrando aire limpio a las labores del corte norte, nivel norte de bolas y corte sur y nivel sur Bolas, el aire

viciado sale por la cruzada a Piedro continuando por el inclinado de Piedro hacia el nivel sur y tambor de comunicación con la mina el consuelo de Daniel siatoba.

La mina según el decreto 1886 de 2015 es clasificada como categoría III. A continuación, se muestra el contenido de gases y el volumen de metano para la mina Piedro -Bolas. (Tabla 50)

Tabla 50. Medición de gases y volumen de CH4 mina Piedro y Bolas

CONCENTRACION DE METANO							
MINA PIEDRO Y BOLAS							
N	Hora	Punto de Medicion	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
1	9:40	Aforo Superficie	0	0	20,9	0	0
2	10:00	Inclinado Bocamina El Piedro (Abscisa 20)	0	0	20,9	0	0
3	10:20	Inclinado Bocamina Bolas (Abscisa 20)	0	0	20,9	0	0
4	10:30	Tambor Nrte Comunicación Corte Bolas - Nivel Superior	0	0	20,9	0,1	0
5	10:40	Cruzada Norte Superior Entre Piedro y Bolas	0	0	20,7	0	0,3
6	10:50	Inclinado el Piedro Entre Nivel Superior e Inferior	0	0	20,7	0,1	0
7	11:00	Cruzada Norte Inferior Entre Piedro y Bolas	0	0	20,5	0,5	0,3
8	11:10	Tecla Norte Subidero a Corte Norte Bolas	0	0	20,4	0,4	0,2
9	11:20	Tambor Norte Subidero a Corte Norte Bolas	0	0	20,4	0,4	0,2
10	11:30	Nivel Norte Piedro Inferior (Abscisa 5) Entre Incl - Cruzada	0	0	20,4	0,35	0,3
11	11:40	Nivel Sur Inferior Piedro en media puerta (Abscisa 30)	0	0	20,7	0,35	0,3
12	11:50	Tambor Sur Comunicación Mina Inversiones Siatoba	0	0	20,7	0,3	0,2
VOLUMEN DE METANO							

CONCENTRACION DE METANO										
MINA PIEDRO Y BOLAS										
N	Hora	Punto de Medicion				Gases				
						CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)
MINA PIEDRO Y BOLAS										
OBSE	PUNTO DE MEDIDA	VELOCIDAD PROM (m/s)	CH4 (%)	AREA (m ²)	Q (m ³ /seg)	Q (m ³ /min)	PRODUCCION DE METANO (m ³ /dia)	PRODUCCION DE METANO (m ³ /mes)	PRODUCCION DE METANO (m ³ /año)	
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado Bocamina El Piedro (Abscisa 20)	0,5	0	3,15	1,575	47,25	0	0	0	
	Inclinado Bocamina Bolas (Abscisa 20)	0,4	0	2,82	1,128	33,84	0	0	0	
SALIDAS DE CAUDAL	Tambor Sur Comunicación Mina Inversiones Siatoba	3,757	0,3	0,72	2,7	81	349,92	10497,6	125971,2	
TOTAL							349,92	10497,6	125971,2	

4.6.3. Criterios Para La Selección De Las Minas Para Formular El Proyecto.

4.6.3.1. Geología local

Las áreas seleccionadas como áreas piloto, se localizan en el flanco occidental del sinclinal Checua-Lenguazaque. (Figuras 1 a 3). Allí afloran rocas de las formaciones Guadalupe Medio y Superior, Guaduas, Cacho y Bogotá.

El carbón explotado en las minas de las áreas piloto se encuentra en la formación Guaduas y se encuentran en los segmentos Ktg2 y Ktg3. En el segmento Ktg2 la columna estratigráfica de las áreas de estudio muestra que se han encontrado hasta 12 mantos de carbón con espesores entre 0,5 m y 1,6 m. En el segmento Ktg3 se han encontrado hasta 4 mantos de carbón con espesores entre 0,5 m y 1,5 m. La posición estructural aproximada es 45°/35°-60°/SE.

Los carbones de esta zona presentan un poder calorífico entre 10.845 BTU/Lb – 13.789 BTU/Lb, con humedad de equilibrio +2 entre 3,18% - 5,96%. El contenido promedio de azufre es de 1,06% y la emisión de SO₂ en lb/MBTU es de 1,52.

El contenido promedio de ceniza es de 10,66%, las cenizas son de tipo bituminosas con índices de Fouling de 0,03 y slagging de 0,08.

Las temperaturas de fusión de las cenizas con valores mayores a 1.567°C indican que son carbones adecuados para la utilización en calderas de fondo seco. (Tabla 51).

Tabla 51. Mantos de carbón, Sector Guacheta

BLOQUE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	NOMBRE DEL MANTO	ESPESOR (M)	ANOTACION
Guacheta	Ktg3	Cisquera del Santuario	0,90-1,80	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas
		Siete Bancos	0,70-2,00	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas
		Vidriosa	0,80-1,60	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas
	Ktg2	Bocatoma	0,30-1,40	Produce coque de excelente calidad
		Rubí	0,01-1,12	Produce coque de excelente calidad
		Piedro	0,70-1,05	Produce coque de excelente calidad
		Bolas	0,50 - 0,80	Produce coque de excelente calidad
		Las Gemelas	0,50 - 1,50	Produce coque de excelente calidad
		Planta de Soda	0,30 - 1,05	Produce coque de excelente calidad
		Santa Bárbara	0,50 - 0,60	Produce coque de excelente calidad
		Aliso	0,30 - 0,65	Produce coque de excelente calidad

		Deposito	1,50 - 1,70	Produce coque de excelente calidad
		Siete Bancos	0,60 - 1,63	Produce coque de excelente calidad

Fuente: Ministerio de Minas y Energía (2004), El Carbón Colombiano.

Según el estudio realiza por la UPME denominado Estrategias Para El Aprovechamiento Del Gas Metano Asociado A Los Mantos De Carbón En Explotaciones Bajo Tierra, afirma que de acuerdo a los contenidos de gas, al número, espesor de los mantos y a la mejor disposición estructural, el área Carbonífera de Checua-Lenguazaque que corresponde al flanco occidental del sinclinal Checua-Lenguazaque, presenta las mejores características en cuanto a gas asociado al carbón.

La **tabla xxx**, muestra el contenido versus la profundidad en diferentes cuencas carbonífera de Colombia: altiplano Cundiboyacense en la formación Guaduas, cuenca de Amagá en Antioquia en la Formación Amagá, cuenca Cesar-Ranchería en el Cesar en la Formación los Cuervos y en la Guajira en la Formación Cerrejón.

CONTENIDO pies ³ /ton				
Profundidad (m)	Altiplano Cundiboyacense	Altiplano Antioqueño	Cesar - Ranchería	Guajira
5-25	0,5-5			
25-50			5-10	10-80
50-100	5-30	15-25	10-50	80-200
100-200	60-80	15-30	30-150	200-300
200-300	10-100	20-90		
300-400	10-150			
400-500	50-150	20-90	50-175	
500-600	50-300	20-90		
600-700	100-300		70-200	

Fuente : UPME, Estrategias Para El Aprovechamiento Del Gas Metano Asociado A Los Mantos De Carbón En Explotaciones Bajo Tierra, afirma que de acuerdo a los contenidos de gas, al número, espesor de los

4.6.3.2. Producción de carbón

De las minas de UNIMINAS SA que se localizan en la zona norte (que es la que mayor cantidad de metano produce), la que más produce es la mina El Rinconcito con 2.340 Ton/mes, seguido de Yacimientos San Miguel con 1.216 Ton/mes.

Las minas restantes manejan producciones pequeñas que van desde 200 ton/mes hasta 960 ton/mes.

De las minas de PROMINCARG S.A.S que se localizan en la parte centro-sur, la mina que produce la mayor cantidad de carbón es la mina La Mana con 1.200 ton/mes, seguido por la mina Bocatoma con 857 ton/mes. (Tabla 52).

Tabla 52. Producción de carbón Uniminas S.A y Promincarg S.A.S.

UNIMINAS SA	
NOMRE DE A MINA	PRODUCCION (TON/MES)
YACIMIENTO SAN MIGUEL	1.216,00
EL CURUBO	300,00
INVERSIONES SIATOBA	880,00
MINA LA CECI	960,00
JABONERA 1 Y 2	394,00
LA VIRGEN	340
RINCONCITO S.A.S	2.340,00
FUTURO DOS	374,00
LOS PINOS	200,00
RUBI EL CALLEJON	660,00
TIERRA ALTA	520
ESPERANZA 2 Y 3	550
PROMINCARG S.A.S	
NOMRE DE A MINA	PRODUCCION (TON/MES)
BOCATOMA	857
MINA EL VOLCAN-EL MORTIÑO	137
LA MANA	1.200,00
CANALES	103

Fuente. Uniminas-Promincarg-Consultor.

4.6.3.3. Producción de metano

La mayor producción de metano se encuentra en la parte centro y norte de Uniminas y en la parte Central y sur del área de Promincarg.

Las minas que más presentan metano medido en los retornos de ventilación se muestran en la **Tabla 53**.

Tabla 53. Volumen de CH4, área Uniminas -Promincarg.

UNIMINAS S.A		
NOMBRE DE LA MINA	PRODUCCION DE CH4 (m³/año)	MANTOS
YACIMIENTO SAN MIGUEL	932.663	<ul style="list-style-type: none"> • Sincho 1 Cisquera 2, • Zuncho 2 Cisquera 2. • Cisquera 2. • Siete bancos.
EL CURUBO	193.855,68	<ul style="list-style-type: none"> •Manto Tercera. •Manto cuarta. •Manto bolas. •Manto Pedro. • Manto consuelo.
INVERSIONES SIATOBA	549.887,62	<ul style="list-style-type: none"> • Santa Bárbara. •Consuelo. •Cuartas. •Bolas. • Bocatoma.
MINA LA CECI	525.035,52	<ul style="list-style-type: none"> •Cisquera. •Tesoro. •Milagros. • Aliso zuncho.
JABONERA 1	5685,8	<ul style="list-style-type: none"> • Cisquera 2.
JABONERA 2	0	<ul style="list-style-type: none"> • Siete bancos.
LA VIRGEN	322.921,7	<ul style="list-style-type: none"> • Cisquera 2.
RINCONCITO S.A.S	258.163,2	<ul style="list-style-type: none"> •Cisquera 1 •Zuncho 1 •Tesoro. •Milagro. •Zuncho de Aliso. •Santa Bárbara. • Consuelo.
FUTURO DOS	194.089	<ul style="list-style-type: none"> • Zuncho de Aliso. • Santa Bárbara.. • Consuelo.

LOS PINOS	13685	<ul style="list-style-type: none"> • Cisquera 2. • Zuncho cisquera 1. • Zuncho cisquera 2.
RUBI EL CALLEJON	88.071	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarta. • Tercera. • Bolas. • Bocatoma.
TIERRA ALTA	75.396,1	<ul style="list-style-type: none"> • Cisquera 2 • Zuncho 1 Cisquera • Siete bancos
ESPERANZA 2	0	<ul style="list-style-type: none"> • Zuncho 1 • zuncho 2
ESPERANZA 3	46.500	<ul style="list-style-type: none"> • Cisquera 2 • Siete bancos.

Tabla 56 (Continuación). Volumen CH₄, área Uniminas -Promincarg.

PROMINCARG S.A.S		
NOMBRE DE LA MINA	PRODUCCION DE CH ₄ (m ³ /año)	MANTOS
BOCATOMA	0	•Manto Bocatoma
MINA EL VOLCAN-EL MORTIÑO	809.948,16	•Cisquera •Siete bancos.
LA MANA	435.611,52	•Manto Aliso •Manto Cisquera •Manto Tesoro •Manto Tesorito •Manto Milagro
CANALES	101.445,69	•Manto Perdida •Manto Zuncho 2
PIEDRO Y BOLAS	125.971,2	•Piedro •Bolas

Fuente. Uniminas – Promincarg – Consultor.

4.6.3.4. Sistema de ventilación.

La ventilación en las minas de las empresas Uniminas S.A y Promincarg S.A.S se caracteriza en su mayor parte por tener un circuito de ventilación forzado, contando con instalaciones independientes para entrada y salida de aire como lo establece el decreto 1886 de 2015.

A continuación, se hace una descripción de las características referentes a ventilación para las minas de cada empresa.

4.6.3.5. Características de ventilación de Uniminas S.A.S.

Todas las minas de la empresa tienen un sistema de ventilación forzado, este circuito fue calculado por un ingeniero en minas con experticia en ventilación, tienen una persona responsable del plan de ventilación y el supervisor de cada turno es el responsable y la persona autorizada para supervisar actividades como: suspensión de la ventilación mantenimiento o reparación de ventiladores.

Las minas cuentan con isométrico de ventilación donde están ubicados los ventiladores, puntos de aforo, medición de los principales gases (CH₄, O₂, CO₂), dispositivos de ventilación tales como reguladores, puertas, conectores utilizados para controlar el movimiento del aire con áreas explotadas.

En zonas abandonadas tienen vendas para impedir la contaminación del aire fresco. Se lleva un protocolo y registro de mantenimiento de ventiladores así como registro de mantenimiento de las vías de ventilación (niveles y tambores de ventilación) y registro de capacitaciones realizadas al personal en temas de ventilación.

A continuación se hace una descripción del circuito de ventilación y principales características de los ventiladores de las minas objeto de estudio.

4.6.3.5.1. Mina San Miguel.

Cuentan con un ventilador principal axial K500 de 3,5 HP, cuentan con 5 ventiladores auxiliares al interior de la mina con las siguientes características:

- Ventilador de 10 HP, Instalado en el Nivel sur 220 Zuncho 1 inclinado San Miguel 2, envía aire fresco a Corte Sur Siete Bancos. Ventilados de 7,5 HP Instalado en el Nivel Sur 220 Zuncho 2 Inclinado San Miguel 2, envía aire fresco a Corte Sur inferior Cisquera 2.
- Ventilador de 10HP, Instalado en Nivel sur 220 inclinado San Miguel 2 envía aire fresco a frentes Sur Inferiores Zuncho y Cisquera 2.
- Ventilador neumático TLZ 300, Instalado en Nivel sur 240 inclinado San Miguel 2 envía aire fresco a frente y corte norte inferior Cisquera2.
- Ventilados de 4 HP, Instalado en cruzada nivel 186 Sur inclinado San Miguel 1 envía aire fresco a frente desarrollo cruzada a siete Bancos.

En la mina Yacimientos san miguel existe un circuito de ventilación natural en el cual el aire limpio ingresa a la mina por el inclinado Yacimientos san miguel 2 y sale por el inclinado Yacimientos san miguel 1 (el roble), diamante siete y otra parte del aire sale por el tambor de ventilación de la mina Yacimientos San Miguel 2 ubicado al sur de la mina.

Este circuito de ventilación esta asistido por un ventilador principal ubicado en el tambor de ventilación de la mina Yacimientos san miguel 2 al Sur, por este tambor

salen 2,261 m³/s de aire.; por el inclinado yacimientos san miguel 1 (El Roble) salen 3,1567 m³/s de aire y por la bocamina Inclinado Diamante 7 (Promincarg) salen 0,132 m³/s de aire, esta última es una labor que se encuentra derrumbada sin embargo sale aire contaminado, por lo que el total del aire que esta saliendo de la mina es de 5,550 m³/s.

El aire limpio ingresa por el inclinado Yacimientos San Miguel 2 (4,870 m³/s), adicionalmente un ventilador centrifugo a modo soplante es decir con ducto (plástico) de ventilación por el cual ingresa 0,546 m³/s de aire y por último se considera el aire comprimido en una cantidad de 0,135 m³/s para un total de 5,551 m³/s de aire, siendo este el aire limpio que ingresa a la mina, logrando así el balance de la cartera de aforos de la mina Yacimientos san miguel (ver anexo B.1.).

Para este circuito de ventilación se tienen un ventilador principal axial eléctrico instalado en la bocamina del tambor de ventilación de la mina Yacimientos san miguel 2, de 3,5 HP y además se tienen ventiladores centrífugos que por ducto (plástico) llevan aire fresco a los frentes ciegos de la avance así: un ventilador de 6 HP, uno de 10 HP Otro de 10 HP y un cuarto ventilador de 7,5 HP.

4.6.3.5.2. Mina La Ceci.

La mina La Ceci cuenta con un ventilador axial de 440V y de 5HP instalado en el inclinado de ventilación el Zuncho de Aliso a modo soplante

Hay cuatro ventiladores auxiliares dos de 6,6 HP, uno de 7,5 HP y uno de 9HP, instalados en el nivel sur 5 Planta de Soda, envían aire fresco, los dos primeros al inicio tiene cada uno 2 metros de ducto de 200mm de diámetro para luego unirse ambos en el ducto de diámetro 250 mm y envían aire fresco a frentes Fondo del inclinado y Nivel Norte 6 Tesoro mediante ducto plástico de 250 mm.

El de 7,5 HP enviar aire fresco al frentes Sur 6 manto Milagro y corte Sur 6 manto Milagro mediante diámetro de 200 mm, para los cortes se utiliza ducto plástico de diámetro 160-140 mm.

El de 9HP se encuentra instalado en el Nivel Norte 5 abscisa 70 a modo soplante, envía aire fresco a frentes Norte y Sur Zuncho de Aliso del mismo nivel 5 mediante ducto plástico de 200 mm.

4.6.3.5.3. Mina Futuro Dos.

Tiene un ventilador principal de 5HP y dos ventiladores auxiliares de 5HP y 7,5HP, el de 5HP está instalado en la cruzada Norte Abscisa 75, envía aire fresco a nivel Norte Z. del manto Aliso mediante ducto plástico de 200 mmm

El de 7,5HP envía aire fresco a Corte Norte Zuncho de Aliso en sentido avance Norte de explotación y Frente de Cruzada a Santa Bárbara mediante ducto plástico de 250 mm.

4.6.3.5.4. Mina El Curubo.

La mina cuenta con dos ventiladores auxiliares eléctrico y centrífugos de 4,8 HP y 3,5 HP, el de 4,8 HP se encuentra instalado a modo soplante en la diagonal Sur Tercero Nivel 320 que envía aire fresco al frente Norte y Sur Consuelo por medio de un ducto plástico de 140 mm.

El de 3,5HP se encuentra instalado a modo soplante en la Cruzada de Tercera a Bolas Nivel 370 que envía aire fresco a frente Sur Cuarta por media de ducto plástico de 140 mm.

Adicionalmente cuenta con un ventilador auxiliar axial y eléctrico de 3HP instalado a modo aspirante en a Cruzada de Tercera a Bolas Nivel 370 para garantizar el circuito de ventilación durante el día.

4.6.3.5.5. Mina Los Pinos.

La mina Los Pinos cuenta con un ventilador principal centrífugo de 10 HP instalado en superficie, opera en modo soplante enviando are fresco a las labores de desarrollo, preparación y explotación en los Mantos Zuncho 1, Cisquera 2 del Nivel 190 Norte y Sur, llega por medio de ducto plástico de 200mm al inclinado y Cruzada Principal, 150 mm en niveles y 100 mmm para cortes de explotación.

Adicional cuenta con un ventilador auxiliar, centrifugo y eléctrico de 5,5 HP, se encuentra instalado en la Sobreguia Sur 185, opera en modo soplante enviando aire fresco a las labores de recuperación del fondo en el Inclinado y Nivel Norte 250 Cisquera 2, por medio de ducto plástico de 150 mm.

4.6.3.5.6. Mina Tierra Alta

La mina tierra alta cuanta con un ventilador auxiliar de 15 HP instalado en Cruzada Nivel 252 entre Cisquera y Zuncho 1 de Cisquera 2 envía aire fresco a frentes de desarrollo en roca y cortes norte y Sur Cisquera 2 mediante ducto de diámetros de 200 mm para niveles y 15^o mm para cortes.

4.6.3.5.7. Mina Esperanza 3

La mina cuenta con un ventilador auxiliar centrífugo de 10 HP instalado en Cruzada a Superficie que envía aire fresco a frente Norte 230 Cisquera 2, en promedio impulsa 0,766 m³/seg.

4.6.3.6. Características de ventilación Promincarg S.A.S.

Todas las minas de la empresa tienen un sistema de ventilación forzado, este circuito fue calculado por un ingeniero en minas, algunas minas tienen plan de ventilación actualizado, otras lo tienen en proceso de elaboración; el supervisor de turno o el administrador de la mina es la persona responsable de la ventilación de la mina. Tienen técnicos en minería bajo tierra que se encargan de supervisar mensualmente los aspectos técnicos y de ventilación de cada mina.

Las minas cuentan con isométrico de ventilación donde están ubicados los ventiladores, dispositivos de ventilación tales como reguladores, puertas y conectores utilizados para controlar el movimiento del aire con áreas explotadas, los puntos de aforo no se observan, la medición de los principales gases (CH₄, O₂, CO₂) en el isométrico.

A continuación se hace una descripción del circuito de ventilación y principales características de los ventiladores de las minas objeto de estudio.

4.6.3.6.1. Mina La Mana.

La mina la mana cuenta con los siguientes equipos de ventilación:

Ventilador Auxiliar Centrífugo 12 HP eléctrico instalado a modo soplante en Intersección Tambor de Ventilación Sur Aliso con Nivel Aliso Superior impulsa un promedio de 0,846 m³/s; de acuerdo a aforo 4 llega a frente un caudal de 0,5 m³/seg; teniendo unas pérdidas en el recorrido de 0,346 m³/seg, lleva aire fresco mediante ducto plástico de 200 mm a frente en recuperación Norte Superior Tesoro.

Ventilador Auxiliar Centrífugo 12 HP eléctrico instalado a modo soplante en Intersección Tambor de Ventilación Sur Aliso con Nivel Norte Aliso Inferior impulsa un promedio de 0,507 m³/s; de acuerdo a aforo 4 llega a frente un caudal de 0,245 m³/seg; teniendo unas pérdidas en el recorrido de 0,262 m³/seg, lleva aire fresco mediante ducto plástico de 130 mm a frente en avance Norte Inferior Tesoro.

El flujo de aire en el inclinado de transporte es intermitente, por lo que se deduce que este es directamente proporcional al movimiento del coche (el movimiento del coche genera que el aire vaya a niveles inferiores o viceversa), para ello los aforos del inclinado e intersecciones se realizaron con el coche estando inactivo para evitar en lo posible datos erróneos.

4.6.3.6.2. Mina El Volcán – El Mortiño.

Las bocaminas el volcán y el mortiño están comunicadas entre si internamente por lo que forman un circuito de aire natural que está constituido de la siguiente manera: Por el inclinado de transporte siete bancos mina el volcán ingresa 3,730 m³/s y recorre las vías internas de las minas hasta salir el aire contaminado por el inclinado de transporte cisquera 2 de la mina el mortiño en una cantidad de 3,7296 m³/s, para las dos minas se tienen ventiladores centrífugos que por ducto (plástico) llevan aire fresco a los frentes ciegos de la avance así: un ventilador de 12 HP, uno de 7,5 HP y un tercero de 5,5 HP; este circuito de ventilación no tiene ventilador principal que asegure el circuito de ventilación natural de las minas (ver anexo B2)

4.6.3.6.3. Mina Canales.

La mina Canales cuenta con los siguientes equipos para ventilar: Ventilador Principal Centrifugo 9 HP eléctrico instalado a modo soplante en Superficie Cerca a Boca viento Sur Cisquera 2 impulsa un promedio de 1,147 m³/s; de acuerdo a aforo 10 llega a frente un caudal de 0,644 m³/seg; teniendo unas perdidas en el recorrido de 0,503 m³/seg, lleva aire fresco mediante ducto plástico de 250 al inicio y combinado en el recorrido de 200 y 130 mm a frente en avance hacia arriba Tambor para ventilación Proyectado a superficie.

Además tienen un Ventilador Principal Centrifugo 6 HP eléctrico instalado a modo soplante en Superficie Cerca a Boca viento Sur Cisquera 2 impulsa un promedio de 0,707 m³/s; de acuerdo a aforos 6, 12 y 13 llega a frente un caudal de 0,436 m³/seg; teniendo unas perdidas en el recorrido de 0,271 m³/seg, lleva aire fresco mediante ducto plástico de 200 mm al inicio y al final de 130 mm a frentes Inactivos Su Cisquera 2 y Zuncho 4 de Cisquera 2 y Frente Norte en avance Zuncho 4 de Cisquera 2.

4.6.3.6.4. Mina Bocatoma.

El funcionamiento del circuito de ventilación es de la siguiente manera: el aire limpio Ingresa por el tambor de ventilación y por los ventiladores ya que el tambor debido a la manera en que se realizó no tiene depresión y presenta demasiada resistencia lo cual evita el ingreso de aire limpio, por lo que se hace necesario mantener la Atmosfera de la mina con ventilación forzada. Se cuenta con 3 ventiladores: (1 de 12hp, 1 de 9hp en superficie y 1 de 3hp en la abscisa 140m tambor de Ventilación).

4.7. LINEA BASE DE EMISIONES DE GAS METANO EN EL AREA PILOTO

4.7.1. Contenido De Metano En Las Minas Del Area Piloto

La línea base es un método que permite evaluar los proyectos partiendo de una situación inicial, tiene un carácter cuantitativo y se origina mediante el uso de fuentes primarias o en algunos casos secundarias (estadística o estudios previos) para de esta manera desarrollar un escenario específico que permita establecer la situación actual o inicial de un proyecto.

El contenido de emisiones se realizó considerando las unidades de producción minera del área piloto donde existe emisión real de metano a la atmósfera, eliminando aquellas en las que no hay emisiones de metano. Para esto se utilizó un termohigroanemómetro digital portátil, cinta métrica, y multi detector de gases para conocer el contenido de metano en las salidas de las minas.

Con la velocidad de salida de los gases y la sección de la salida de la mina se obtiene el caudal de gases que sale de la mina $Q=V \times S$, ahora con el contenido de metano se determina el metano que es emitido a la atmósfera para luego hacer el cálculo en cantidad de CO₂ equivalente. (Tabla 54).

Tabla 54. Contenido de metano en las minas del área piloto

CONTENIDO DE CH ₄ EN LA ZONA NORTE CONTRATO DE CONCESION 2505 UNIMINAS S.A	
NOMBRE DE LA MINA	PRODUCCION DE CH ₄ (m ³ /año)
YACIMIENTO SAN MIGUEL	932.663,00
EL CURUBO	193.855,68
INVERSIONES SIATOBA	549.887,62
MINA LA CECI	525.035,52
JABONERA 1	5.685,80
JABONERA 2	0
LA VIRGEN	322.921,70
RINCONCITO S.A.S	258.163,20
FUTURO DOS	194.089,00
LOS PINOS	13.685,00
RUBI EL CALLEJON	88.071,00
TIERRA ALTA	75.396,10
ESPERANZA 2	0

ESPERANZA 3	46.500,00
TOTAL	3.205.953,62

Tabla 57. (Continuación) Contenido de metano en las minas del área piloto

CONTENIDO DE CH ₄ EN LA ZONA NORTE CONTRATO DE CONCESION 867T PROMINCARG LTDA	
NOMBRE DE LA MINA	PRODUCCION DE CH ₄ (m ³ /año)
BOCATOMA	-
MINA EL VOLCAN-EL MORTIÑO	809.948,16
LA MANA	435.611,52
CANALES	190.356,48
PIEDRO Y BOLAS	125.971,20
TOTAL	1.561.887,36
TOTAL UNIMINAS S.A.S+ PROMINCARG S.A.S	4.767.840,98

Fuente: Consultor

4.7.2. Calculo De Emision De Metano En Las Minas Del Area Piloto.

Las minas de carbón subterráneas suelen ventilarse mediante descarga de aire hacia la superficie, a través de túneles subterráneos, para mantener una atmósfera segura. El aire de la ventilación recoge el CH₄ y el CO₂ que se liberan de las formaciones de carbón y los transporta a la superficie, donde se emiten a la atmósfera. La concentración de metano que se encuentra en el aire de ventilación suele ser baja, pero su caudal volumétrico normalmente es considerable y, por lo tanto, las emisiones de metano procedentes de esta fuente pueden ser muy significativas,

El CH₄ es el principal gas de efecto invernadero que se emite a través de la minería carbonífera y del manejo de carbón.⁵ De allí la importancia de establecer una línea base de emisiones de metano en el área piloto.

⁵

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf

[http://www.ipcc-](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf)

Para el cálculo de emisiones de metano se realiza de acuerdo con la cantidad de carbón producido y un factor de emisión que depende de la cantidad de CH₄ procedente de la actividad⁶.

Para determinar las emisiones de CH₄ se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones CH}_4 = \text{Producción de carbón} * \text{FEm} * \text{FConv}$$

Dónde:

Emisiones CH₄: emisión de CH₄ (Gg)

Producción de carbón: Producción de carbón (Ton)

FEm: Factor de emisión para el carbón (m³CH₄/t carbón)

FConv: factor de conversión (0.67 Gg/10⁶ m³).

En la Tabla 55 se presenta el cálculo de las emisiones de metano para las minas del área piloto.

⁶ emisiones de metano se tomó como referencia El Capítulo 2 del Módulo de energía publicado por el Ideam.

Tabla 55. Emisiones de metano en el área Piloto

EMPRESA	MINA	PRODUCCION DE CH4 (m ³ /año)	Produccion de carbon Ton de Carbon Año	Factor de Emision FECH ₄ (m ³ CH ₄ /TON Carbon)	Factor de conversion F.Conv (0,67Gg CH4 /10 ⁶ m3 CH4)	Emision Total Gg/Año FEec	TON EMISIONES EMITIDAS GgCO ₂ Eq /Año	TON EMISIONES EMITIDAS TonCO ₂ Eq /Año
UNIMINAS SA	YACIMIENTO SAN MIGUEL	932.662,77	14592	63,92	0,00000067	0,62	15,62	15.622,1
	EL CURUBO	637.976,00	3600	177,22	0,00000067	0,43	10,69	10.686,10
	INVERSIONES SIATOBA	549.887,62	10560	52,07	0,00000067	0,37	9,21	9.210,62
	MINA LA CECI	427.991,04	11520	37,15	0,00000067	0,29	7,17	7.168,85
	JABONERA 1 Y 2	405.984,96	4728	85,87	0,00000067	0,27	6,80	6.800,25
	LA VIRGEN	322.921,73	4080	79,15	0,00000067	0,22	5,41	5.408,94
	RINCONCITO S.A.S	258.163,20	28080	9,19	0,00000067	0,17	4,32	4.324,23
	FUTURO DOS	194.088,96	4488	43,25	0,00000067	0,13	3,25	3.250,99
	LOS PINOS	119.367,00	2400	49,74	0,00000067	0,08	2,00	1.999,40
	RUBI EL CALLEJON	88.070,98	7920	11,12	0,00000067	0,06	1,48	1.475,19
	TOTAL	3.937.114,26	91968	42,81	0,00000067	2,64	65,95	65.946,66
PROMINCARG S.A.S	BOCATOMA	1.175.731,00	10.284,00	114,33	0,00000067	0,79	19,69	19.693,49
	MINA EL VOLCAN-EL MORTIÑO	503.884,80	1644	306,50	0,00000067	0,34	8,44	8.440,07
	LA MANA	423.263,23	14400	29,39	0,00000067	0,28	7,09	7.089,66
	CANALES	190.356,48	1236	154,01	0,00000067	0,13	3,19	3.188,47
	TOTAL	1.117.504,51	27.564,00	40,54	0,00000067	0,75	18,72	18.718,20
TOTAL UNIMINAS S.A.S+ PROMINCARG S.A.S		5.054.618,77	83,35	83,35	0,00000067	3,39	189,02	189.023,22

4.8. PROPUESTAS PARA APROVECHAMIENTO U OXIDACION DE GAS METANO.

PROPUESTA 1

Teniendo en cuenta las características ya descritas de las minas de la zona Norte del área del contrato 2505 (diagnostico área piloto), para los objetivos propuestos en el presente estudio se propone integrar las Minas San Miguel (Uniminas) – Canales (Promincarg) y el inclinado Diamante 7, como una unidad de producción de metano, por las siguientes razones:

- Por su ubicación y avance de las labores, las minas permiten realizar ajustes o rediseños a los sistemas de ventilación. De ser necesario para la implementación del proyecto de oxidación o autogeneración los reajustes se presentaran en el capítulo 5 del presente documento..
- La producción de carbón de la Mina San Miguel es de 1.216 Ton/mes y Canales es de 103,8 Ton/mes, que sumándolas sería de 1.319,8 Ton/mes, de la mina Diamante 7 solo se tiene avanzado un inclinado es decir no producen carbón actualmente, sin embargo para el presente proyecto se debe tener en cuenta para la integración ya que este inclinado (Diamante 7) a través de niveles comunica a canales y a Yacimientos San Miguel además actualmente se encuentra derrumbado sin embargo dentro de las actividades planeadas por la empresa se pretende la recuperación de este inclinado (Ver plano anexo).
- En la Mina San Miguel laboran actualmente 32 personas y en la mina Canales 12, sería un total de 44 personas a las que se les mejora las condiciones de seguridad al lograr implementar un proyecto de este tipo debido a que se debe tener un control más estricto de metano y de las condiciones de ventilación y sus equipos.
- Tienen un ingeniero en minas permanente encargado de la operación de la mina. El volumen de metano de la Mina San Miguel es de 932.662,77 m³/Año en este volumen se encuentra la producción de metano de diamante 7 (65.302,85 m³/año) ya que esta labor funciona como salida de aire de yacimiento San Miguel; y de la Mina Canales es de 190.356,48m³/Año, sumando estos volúmenes se tendría un total 1.123.019,25 m³/Año, es decir 18.810, 57 Ton CO₂Eq/Año.

PROPUESTA 2

Mina El Volcán -Mortiño

La segunda propuesta para construir un modelo de aprovechamiento o quema de gas metano de los ductos de ventilación es la mina El Volcán - Mortiño, por las siguientes razones:

- La mina El Volcán – El Mortiño son unidades de producción minera que a pesar tener operadores diferentes estas se encuentran comunicadas, lo cual facilita el rediseño de los sistemas de ventilación. De ser necesario para la implementación del proyecto de oxidación o autogeneración los reajustes se presentaran en el capítulo 5 del presente documento.
- La producción mensual de carbón es de 126 Ton/mes.
- Laboran bajo tierra 15 personas a las que se les mejoraría las condiciones de seguridad al lograr implementar un proyecto de este tipo debido a que tendría un control más estricto de metano, de las condiciones de ventilación y sus equipos, además esta mina en el pasado ha registrado accidentes de trabajo por presencia de metano.
- Tiene producción interesante de gas metano medido en los retornos del aire 809.948,16m³/Año, equivalente a 8440,07 Ton CO₂Eq/Año

4.9. ESTRATEGIAS QUE FACILITEN LA PUESTA EN MARCHA DE UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO O QUEMA DE GAS METANO DE LOS DUCTOS DE VENTILACION DEL AREA PILOTO.

Este aparte del documento incluye dos elementos, las líneas estratégicas e instrumentales de la política nacional y las estrategias locales para la implementación de un proyecto piloto de aprovechamiento o de quema de gas metano de los ductos de ventilación de una mina subterránea de carbón (VAM),

Este tipo de proyectos (disminución de emisiones de GEI) se inscribe dentro de la Estrategia Nacional de Desarrollo Bajo en Carbono (desarrollo minero-energético bajo en carbono y resiliente al cambio climático) y de Crecimiento Verde de largo plazo (crecimiento económico sostenible) “contenido” dentro de la ley 1753 de 2015 (Plan Nacional de Desarrollo) en especial lo contenido en su artículo 170.

La PNCC definió cinco (5) líneas estratégicas y cuatro (4) líneas instrumentales.

Aunque las estrategias y los instrumentos son transversales este (proyecto piloto) “destaca” dentro de la estrategia minero-energética y dentro de las líneas instrumentales que vincula el tema de la información-educación-tecnología e investigación y de financiación e instrumentos económicos.

4.9.1. Líneas Estratégicas.

- **TERRITORIALES.**
 - Desarrollo rural bajo en carbono y resiliente al clima.
 - Desarrollo urbano bajo en carbono y resiliente al clima.
- **ECOSISTEMICA.**
 - Manejo de ecosistemas, dirigidas conjuntamente a mejorar la resiliencia al clima y la capacidad de mitigación de GEI del país.
- **SECTORIALES.**
 - Desarrollo minero-energético bajo en carbono y resiliente al clima.
 - Desarrollo de infraestructura baja en carbono y resiliente al clima.

4.9.2. Líneas Instrumentales.

- Planificación de la gestión del cambio climático.
- Información y ciencia, tecnología e investigación.
- Educación.
- Financiación e instrumentos económicos.

La política determina que las metas sectoriales deben ser cuantitativas, es por esto que es necesario tener en cuenta que la implementación de este tipo de proyectos busca disminuir la cantidad de emisiones de GEI, en este caso la disminución vertimientos de metano a la atmosfera.

Según el inventario minero de 2012, la minería subterránea de carbón produce 1,3 millones de toneladas de CO₂e del total que produce el país (258,8MTon), lo que equivale al 0,5% del total de emisiones producidas en el país.

La PNCC definió por medio de la línea estratégica minero-energética baja en carbono y resiliencia al cambio climático las siguientes líneas de acción, con las que está relacionado este proyecto.

4.9.3. Líneas De Acción de la PNCC

- Integrar en las políticas, instrumentos y regulación sobre expansión de la oferta energética eléctrica del país, los objetivos de adaptación ante los eventos climáticos, así como *medidas de desarrollo bajo en carbono*, minimizando aquellas que implican sacrificios entre objetivos.
- *Promover mecanismos eficientes, incluidos instrumentos económicos, para la gestión de la demanda baja en carbono en los diferentes sectores.*
- Propender y promover la adecuada “gestión de las emisiones fugitivas que se presentan durante las actividades en los sectores de minas” y de hidrocarburos.

Dentro de las líneas instrumentales es necesario resaltar que el proyecto “se puede inscribir” dentro de los planes integrales sectoriales de gestión de cambio climático, de las acciones para la información y sensibilización sobre ciencia, “inversión en tecnología y en innovación y en la financiación internacional (oferta de recursos) para la disminución, mitigación y adaptación al cambio climático generado por las emisiones de GEI”.

De acuerdo con la Política Nacional de Cambio Climático y una vez realizado y analizado los diagnósticos (internacional y nacional) se establecen una serie de estrategias que facilitarían la puesta en marcha de proyectos de este tipo, de aprovechamiento o quema de gas metano de los ductos de ventilación (VAM).

Se utilizó como instrumento para el análisis una matriz DOFA.

4.9.4. Matriz DOFA

Es una herramienta de análisis estratégico que permite evidenciar de forma organizada aspectos fundamentales de un proyecto; la palabra está formada con las iniciales de las palabras que definen las debilidades, las oportunidades, las fortalezas y las amenazas para un proyecto.

Se utiliza para describir situaciones relacionadas con los elementos internos y el ambiente externo en el que se debe desarrollar un proyecto o una organización. El cruce de estos elementos de análisis da como resultado la definición de unas estrategias para implementar en un proyecto que pretenda ser exitoso.

En la tabla 58 se muestran los resultados del ejercicio de la matriz DOFA. Los pasos para realizar una matriz DOFA son los siguientes: se hace una lista de fortalezas internas, debilidades internas decisivas, una lista de oportunidades externas importantes, una lista de las amenazas externas claves.

Tabla 56. Matriz DOFA

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
Falta de experiencia, en Colombia no se ha desarrollado algún proyecto VAM.	Interés mundial en el objetivo de reducir los GEI.
De acuerdo con la revisión que se hizo a los sistemas de ventilación de las minas de las áreas piloto, es necesario su rediseño para la adecuación a un proyecto VAM.	Establecimiento de la PNCC con sus estrategias e instrumentos que promueven la disminución de la emisión de GEI
Tamaño de las minas , baja producción y poco caudal, además de la carencia de personal profesional y técnico para la implementación de un proyecto VAM	Compromiso internacional de financiación de proyectos orientados a la disminución de emisiones de GEI

Carencia de insumos tecnológicos en el entorno nacional.	Mejoras en la operación minera y reducción del riesgo por presencia de gas metano en las minas.
	Nuevas filosofías empresariales, apertura a la innovación tecnológica para el aprovechamiento u oxidación del VAM.
Desconocimiento si la inversión en este tipo de proyectos es rentable en el entorno nacional.	Experiencia y disponibilidad de equipos a nivel internacional.
	Mejoras en la seguridad e imagen empresarial para nuevos inversionistas.
FORTALEZAS	AMENAZAS
Las minas piloto presentan unos niveles aceptables de gas metano para la implementación de un proyecto VAM.	Falta de legislación sobre aprovechamiento y/o eliminación de gas metano).
Los representantes de las empresas han mostrado interés en la construcción de la propuesta de este proyecto piloto.	Falta de incentivos para la implementación de este tipo de proyectos.
Las empresas interesadas en el proyecto tienen experiencia y trayectoria en el sector extractivo de carbón.	Falta de reglamentación y creación de un mercado de bonos de carbono en Colombia.
Las minas están comprometidas con la seguridad de las UPM, incluida el mejoramiento de los sistemas de ventilación.	Ausencia de un mercado estable para el carbón, tanto térmico como metalúrgico.
Las empresas presentan niveles aceptables de trabajo en equipo e invierten en la capacitación de su personal.	Tendencia mundial a la disminución de energías producidas con combustibles fósiles.

Fuente. Análisis del consultor.

4.9.5. Estrategias.

4.9.5.1. Internas.

Estas estrategias hacen referencia al entorno del área piloto seleccionada según la información suministrada por cada empresa.

Diseño Minero y Capacidad Organizativa

Teniendo en cuenta que el área piloto seleccionada se encuentra dentro del área de los contratos 2505 (Uniminas S.A) y 867T (Promincarg S.A.S), el desarrollo minero se ha adelantado de manera independiente, con criterios empresariales, técnicos y tecnológicos distintos y con “velocidades” diferentes.

Líneas Estratégicas

Adecuar los sistemas de ventilación de las minas piloto de acuerdo con las tecnologías a implementar, de manera que los ductos de ventilación conduzcan el aire sin pérdidas a los equipos de oxidación.

Para la propuesta piloto de San Miguel-Canales-Diamante 7 se propone como estrategia el establecer en lo posible, compromisos entre las dos empresas con el fin de establecer y ejecutar el diseño planteado, unificar criterios económicos, técnicos, tecnológicos, administrativos y de financiación para llevar a término el proyecto

Es necesario establecer nuevas perspectivas empresariales, hacia nuevos fines y objetivos (producción limpia baja en carbono) que permitan asegurar la continuidad operativa de la empresa a la par de la implementación de estos proyectos.

Resaltar los aspectos positivos y de beneficios de la producción limpia baja en carbono entre ellos la disminución de los riesgos por presencia de gas metano, reducción de costos por posibles incentivos económicos a través de la creación de un mercado de carbono.

Implementar cambios tecnológicos en especial en el sistema de ventilación en las minas subterráneas de carbón de manera tal que permita la implementación de este tipo de proyectos.

Capacitación de personal profesional, técnico y operativo en proyectos de aprovechamiento u oxidación de gas metano.

Promover dentro de la minería subterránea de carbón, las buenas prácticas internacionales referentes al GEI.

Impulsar el aprovechamiento u oxidación del gas metano como una nueva alternativa de negocio (partiendo de la propuesta de crear un mercado nacional de carbono).

4.9.5.2. Externas.

Este tipo de estrategias hace referencia al entorno más allá del control de las empresas, es decir su entorno nacional e internacional.

Capacidad Técnica, Económica, Financiera y Jurídica.

Coordinar con entidades e instituciones Estatales la ejecución de estos proyectos de tal manera que contribuya al desarrollo social, económico y ambiental de la región.

Gestionar convenios internacionales que permitan intercambiar experiencias y conocimientos sobre ejecución de proyectos VAM para la implementación de las mejores prácticas administrativas, técnicas y tecnológicas para el mejoramiento de estos aspectos en el área piloto y así mismo Capacitar al personal para la implementación de este proyecto.

Gestionar la búsqueda de financiación nacional e internacional y asistencia técnica para la implementación de estos proyectos aprovechando los compromisos que han adquirido los países más ricos en la disminución de GEI y los compromisos adquiridos a nivel ambiental por Colombia.

Adecuar el aparato jurídico colombiano para la implementación de este tipo de proyectos.

Aunque que las dos empresas (Uniminas y Promincarg) han mostrado un enorme interés en este proyecto piloto, se encontró que no cuentan con la experiencia ni con el músculo financiero para su implementación, de igual manera esto aplica para las minas subterráneas de carbón localizadas en cualquier departamento.

Por lo tanto se propone hacer la gestión para la asistencia financiera, técnica y tecnológica, aprovechando los compromisos internacionales y el PNCC, para la disminución de las emisiones de GEI.

En materia de regulación el documento COMPES 3517 de mayo de 2008, se refiere al marco regulatorio trazado a nivel general por los códigos de minas y petróleo vigentes señalando expresamente lo siguiente: *“A diferencia de la legislación anterior³⁹ que regulaba de manera específica la exploración y explotación de cada uno de los diversos minerales, la gran mayoría de las previsiones contenidas en el Código de Minas vigente (Ley 685 de 2001) cubre de manera general a todos los recursos mineros, entre éstos el carbón. En tal virtud, son aplicables a este mineral las disposiciones generales del Título I del citado código, las normas sobre la concesión de minas (Título II), la regulación en materia de servidumbres mineras, expropiación y medio ambiente (Título V), y los aspectos procedimentales (Título VII)”*.⁷

El mencionado documento COMPES establece que no hay necesidad de reformar la legislación minera como tampoco la de hidrocarburos ya que estas no presentan inconsistencias ni vacíos, no obstante lo anterior, es necesario desarrollar

⁷ Documento COMPES 3517 de 2008 pp. 14.

regulación de contratación y normas técnicas para la exploración y extracción del gas metano y sus derivados de manera adecuada considerando especialmente las técnicas, los problemas fácticos y contractuales que pudieren surgir conforme a la explotación y sobretodo la determinación de autoridades de control que verifiquen cada dimensión o efecto adverso que se pudiere extraer de su aprovechamiento, de la misma manera regular los estudios ambientales que sean necesarios adquirir para este tipo de proyectos. Sin embargo se debe tener en cuenta que el decreto 1886 de 2015 en su artículo 59 permite a las empresas mineras y titulares realizar la extracción de metano para autogeneración o quema.

Políticas Ambientales y de Incentivos:

Definir una reglamentación clara y precisa para el fomento de este tipo de proyectos. Para la implementación de un proyecto VAM de tipo experimental como el que se propone en este estudio y sin la experiencia en el entorno nacional, se hace necesario solicitar la participación de profesionales de aquellos países en donde ya se han implementado estas tecnologías.

Para que los empresarios mineros “se animen” a invertir es necesaria la implementación de incentivos económicos. Estos no son sencillos de aplicar, ya que para que éstos sean instrumentos de aplicación tangibles y viables, deben incorporar, además de un beneficio económico, una serie de derechos y obligaciones, tomando en consideración también la necesidad de que exista una política de Estado que ampare estos proyectos.

En este sentido, podemos afirmar que la implementación de incentivos económicos es conveniente y puede considerarse como un estímulo importante encaminado a la mitigación del cambio climático, pues además de generar un beneficio de carácter económico para quien realice determinadas acciones o implemente ciertas medidas, se estará contribuyendo a la protección del medio ambiente⁸.

Actualmente en Colombia se cuenta con la Ley 1715 de 2015, en virtud del cual se promueve el desarrollo y utilización de fuentes no convencionales de energía buscando la reducción de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético, en esta ley se regula una serie de incentivos aplicables

⁸ http://www.ceja.org.mx/IMG/Los_incentivos_economicos.pdf

a fuentes de energía no convencional. El carbón es considerado como una fuente convencional por este motivo se propone ajustar esta ley (ampliarla) y que sea aplicable al carbón como fuentes convencionales que hagan uso de nuevas tecnologías y disminuyan el vertimiento de gases efecto invernadero y de esta manera cooperar con el cumplimiento de la política de cambio climático

Dentro de estos incentivos de la Ley 1715 de 2015 están los siguientes:

- ✓ **ARTÍCULO 11. INCENTIVOS A LA GENERACIÓN DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES.** Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada. El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión.
- ✓ **ARTÍCULO 12. INCENTIVO TRIBUTARIO IVA.** Para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA.
- ✓ **ARTÍCULO 13. INSTRUMENTOS PARA LA PROMOCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. INCENTIVO ARANCELARIO** Las personas naturales o jurídicas que a partir de la vigencia de la presente ley sean titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes. Este beneficio arancelario será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos.
- ✓ **ARTÍCULO 14. INCENTIVO CONTABLE DEPRECIACIÓN ACELERADA DE ACTIVOS** La actividad de generación a partir de FNCE, gozará del régimen de depreciación acelerada. La depreciación acelerada será

aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin, a partir de la vigencia de la presente ley. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual.

Otro tema trascendental para la puesta en marcha de un proyecto piloto como el que se plantea es la definición, reglamentación y fijación del mercado de carbono.

La fijación del precio del carbono desempeña una función esencial, pues se trata de una de las medidas más eficaces disponibles para reducir la contaminación climática con la magnitud y el ritmo que exige la ciencia.

Al determinar el precio del carbono se garantiza que queden reflejados en el mercado los verdaderos costos de los combustibles fósiles y los beneficios de una energía limpia.

La fijación del precio del carbono promueve hoy (en los países en donde ha sido implementado) las inversiones en sistemas rentables para la reducción de emisiones, al tiempo que se libera el potencial de la innovación en tecnologías del mañana con bajas emisiones de carbono.

Al establecerse el precio del carbono se respalda un crecimiento limpio y sostenible y la creación de empleo en el contexto de una transición económica resiliente y favorable al clima, al tiempo que se generan ingresos.

5. ENTREGABLE 3: PROYECTO PILOTO

5.1. MINAS SELECCIONADAS

Con base en el diagnóstico minero realizado en el área piloto, se seleccionaron las siguientes minas para los dos proyectos pilotos a presentar.

- ✓ Propuesta 1: Minas San Miguel (Uniminas)-Canales e inclinado Diamante 7 (Promincarg).
- ✓ Propuesta 2: Minas Volcán-Mortiño (Promincarg).

5.1.1. Propuesta 1: San Miguel – Canales – Inclinado Diamante 7. (Minas De Uniminas Y Promincarg)

5.1.1.1. Criterios para su escogencia:

La primera propuesta para construir un modelo de aprovechamiento o quema de gas metano de los ductos de ventilación consiste en integrar las Minas San Miguel (Uniminas) – Inclinado Diamante 7 y Canales (Promincarg), como una unidad de producción de metano, por las siguientes razones:

1. Por su ubicación y avance de labores, las minas permiten realizar ajustes a los circuitos de ventilación (Ver Anexo B.1).
2. La producción de carbón de la Mina San Miguel es de 1.216 Ton/mes y Canales es de 103,8 Ton/mes, que sumándolas sería de 1.319,8 Ton/mes, Diamante 7 es un inclinado que por medio de niveles comunica a canales y a Yacimientos San Miguel lo que quiere decir que no hay producción de carbón además actualmente se encuentra derrumbado sin embargo dentro de las actividades planeadas de la empresa está la recuperación de este inclinado (Ver plano anexo).
3. En la Mina San Miguel laboran actualmente 32 personas y en la mina Canales 12, sería un total de 44 personas a las que se les mejora las condiciones de seguridad al lograr implementar un proyecto de este tipo debido a que se debe tener un control más estricto de metano y de las condiciones de ventilación y sus equipos.
4. Tienen un ingeniero en minas permanente encargado de la operación de la mina. El volumen de metano de la Mina San Miguel es de 932.662,77 m³/Año en este volumen se encuentra la producción de metano de diamante 7 (65.302,85 m³/año) ya que esta labor funciona como salida de aire de yacimiento San Miguel; y de la Mina Canales es de 190.356,48m³/Año, sumando estos volúmenes se tendría un total 1.123.019,25 m³/Año, es decir 18.810, 57 Ton CO₂Eq/Año.

5.1.1.2. Características generales.

Las principales características de las minas seleccionadas son se presentan en la Tabla 57 :

Tabla 57.característica generales Minas San Miguel - Canales

CARACTERÍSTICAS DE LAS MINAS	
Nombre de la Mina:	San Miguel-Canales-Inclinado Diamante 7
Sistema:	Subterráneo
Acceso:	En contra de la gravedad
Método de explotación:	Tajo corto.
Sostenimiento:	Puerta alemana en madera y cuadros también en madera
SECCIÓN PROMEDIO ÁREA:	
Canales:	2,3 m ² (Rango: 1,4-2,99) m ²
San Miguel	2,3 m ² (Rango: 2,5-3,1) m ²
Diamante 7:	0,7 m ²
Producción de carbón:	15.840 Ton/año
Personal laborando:	44 personas
TURNOS:	
San Miguel:	2 turnos de 8 horas c/u 1 preparación de tajo
Canales:	3 turnos
Diamante 7	Sin personal laborando
CARACTERÍSTICAS VAM:	
Volumen de aire/hora:	22.138 m ³ /h
Volumen total de metano/hora:	119,69 m ³
Volumen total de metano/año	1'048.884,4 m ³
% CH ₄ :	0,54 (Rango: 0,3-1).
Emisiones de metano en CO ₂ e:	18.810, 57 Ton CO ₂ Eq/Año
COTAS BOCAMINAS:	
San Miguel:	2829,5 msnm 2846,46 msnm
Canales:	2797,12 msnm 2798,63 msnm
Diamante 7:	2846,16 msnm

5.1.2.Propuesta 2: Minas Volcán-Mortiño (Promincarg).

5.1.2.1. Criterios para su escogencia:

La segunda propuesta para construir un modelo de aprovechamiento o quema de gas metano de los ductos de ventilación es la mina El Volcán - Mortiño, por las siguientes razones:

1. La mina El Volcán – El Mortiño son unidades de producción minera que a pesar de tener operadores diferentes estas se encuentran comunicadas, lo cual facilita el rediseño de los sistemas de ventilación.
2. La producción mensual de carbón es de 126 Ton/mes.
3. Laboran bajo tierra 15 personas a las que se les mejoraría las condiciones de seguridad al lograr implementar un proyecto de este tipo debido a que tendría un control más estricto de metano, de las condiciones de ventilación y sus equipos, además esta mina en el pasado ha registrado accidentes de trabajo por presencia de metano.
4. El volumen de metano de la mina El Volcán – Mortiño es de 809.948,16m³/Año, lo que equivale a 8.440,07 TonCo₂-Eq.

5.1.2.2. Características generales.

Las principales características de las minas seleccionadas se presentan en la Tabla 59:

Tabla 58. Característica generales minas Volcán Mortiño

CARACTERÍSTICAS DE LA MINA	
Nombre de la Mina:	Volcán – Mortiño
Sistema:	Subterráneo
Acceso:	En contra de la gravedad
Método de explotación:	Tajo corto
Sostenimiento:	Puerta alemana en madera y cuadros también en madera
SECCIÓN PROMEDIO ÁREA:	
Volcán:	2,5
Mortiño:	2,3
Producción de carbón:	126 Ton/mes
Personal laborando:	15
TURNOS:	
Volcán:	1
Mortiño:	3
CARACTERÍSTICAS VAM:	
Volumen de aire/hora:	13.392 m ³ /Aire
Volumen total de metano/hora:	93,74 m ³ CH ₄ /hora
% CH ₄ :	0,7%
Emisiones de metano en CO ₂ e:	8440,07 Ton CO ₂ Eq/Año
COTAS BOCAMINAS:	
Volcán	2883,12 msnm
Mortiño	2911,85 msnm

5.2. TECNOLOGÍAS APLICABLES A LOS PROYECTOS PROPUESTOS

Aunque los proyectos se presentas por aparte, ellos tienen como factor común sus características mineras y de VAM. Por lo tanto, al tener características similares la tecnología a aplicar también deberá tener características similares.

De acuerdo con lo anterior en este aparte del documento, se presentan las tecnologías aplicables que son similares para las dos propuestas por un lado y los rediseños del sistema de ventilación y la evaluación económica para cada propuesta por el otro.

5.2.1. Tecnología a Aplicar.

De acuerdo con las recomendaciones establecidas por UNECE (2010) para que una planta generadora de energía que utilice VAM sea rentable, tiene que cumplir con dos condiciones mínimas:

- El volumen de aire mínimo de los ductos de ventilación debe ser de: 500.000 m³/h.
- La concentración de metano debe ser del 0,7%

De acuerdo con lo anterior, los volúmenes de aire y porcentajes de metano producidos por las minas tanto del área piloto (propuesta 1 San Miguel – Canales y propuesta 2 Volcán – Mortiño) son insuficientes para implementar un proyecto de generación de energía. Por lo tanto y de acuerdo con las características del VAM de las minas piloto, se propone un proyecto de oxidación de metano.

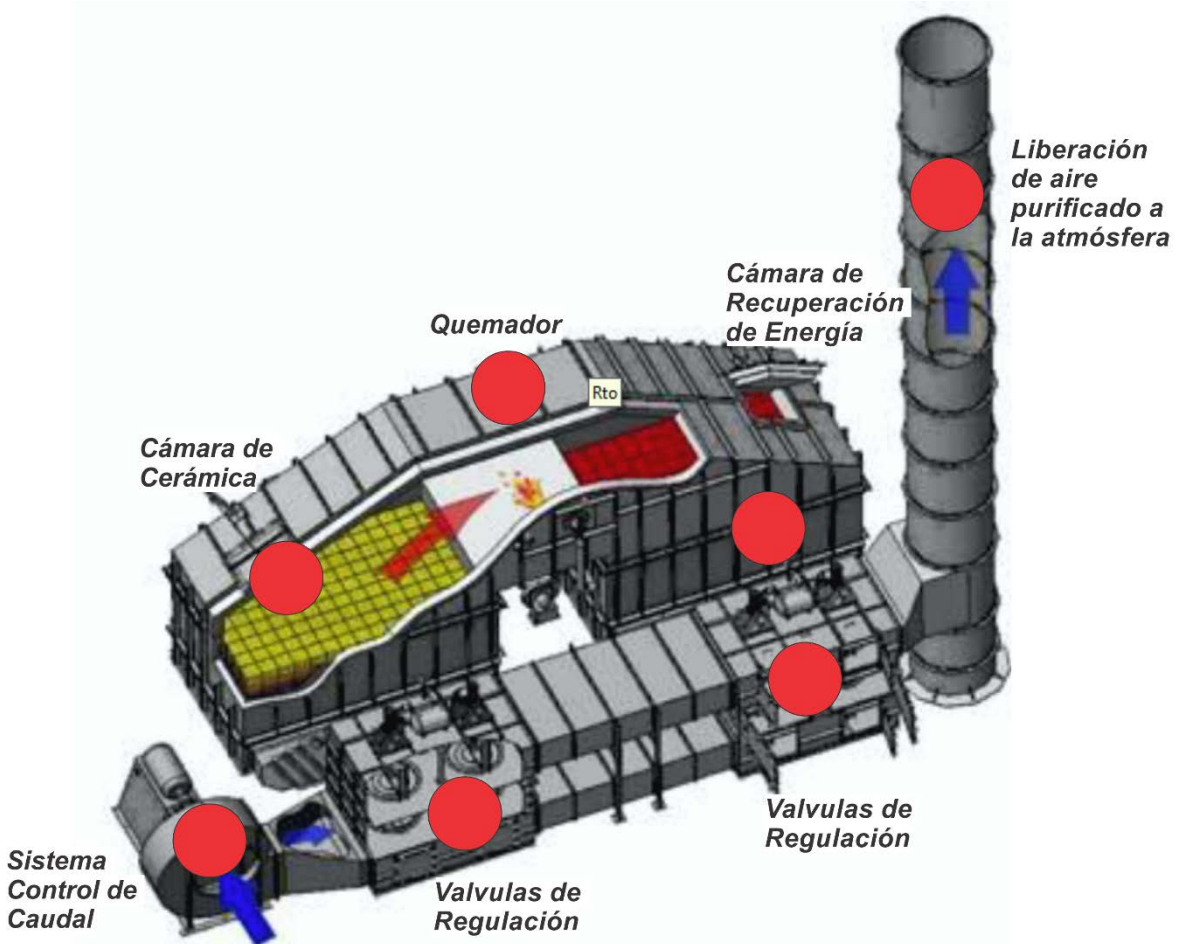
En opinión y recomendación de los expertos internacionales, los Oxidantes Térmicos Regenerativos - RTO – (por sus siglas en inglés) son los más apropiados para este tipo de proyectos.

Figura 47. RTO instalado en una fábrica



Fuente: www.anguil.com

Figura 48. Esquema RTO



Fuente: www.anguil.com

5.2.1.1. Funcionamiento:

Los oxidantes térmicos regenerativos (RTOs) son los más apropiados para las condiciones mineras de las minas del área piloto. Todos los RTO funcionan de manera similar, utilizan un combustible auxiliar (como el gas natural) para calentar inicialmente las cámaras de cerámica donde se producirá la oxidación del metano; dependiendo del calor generado por el metano se puede continuar el proceso sin la adición de combustible auxiliar.

Para iniciar el proceso, las cámaras (en cerámica) se calientan con el combustible auxiliar hasta alcanzar la temperatura deseada de 800-990 °C. A continuación el aire de ventilación cargado de metano entra en el oxidante (equipo) a través de un

colector de entrada que utiliza un sistema de control de caudal, después de esto las válvulas de regulación dirigen el VAM a la primera cámara de recuperación de energía donde se precalienta.

A medida que el proceso continúa, el VAM se calienta progresivamente en las cámaras (a medida que avanza hacia la cámara de combustión). Una vez que el VAM entra en la cámara de combustión el metano se oxida y el aire restante, caliente y purificado libera energía térmica (al pasar por la segunda cámara intermedia en la dirección del flujo de salida).

La cámara de salida se calienta y el gas se enfría para que la temperatura del gas de salida sea sólo ligeramente superior a la temperatura de entrada del proceso. Las válvulas de cierre controlan la acumulación de calor alternando la dirección del flujo de aire en las cámaras intermedias con el objeto de maximizar la recuperación de energía dentro del oxidante.

La alta recuperación de energía dentro de estos oxidantes (equipos) reduce el gasto de combustible auxiliar y ahorra costos operativos.

Cuando los RTO utilizan catalizadores es necesario tomar medidas adicionales para asegurar que (los catalizadores) no estén expuestos a productos químicos o materiales como el polvo, elementos que podrían contaminarlos. Esto puede ser difícil de controlar en pequeñas minas subterráneas de carbón que dependen de ventiladores que mueven el aire desde las paredes de trabajo hacia la superficie a lo largo de las vías.

El aire que se mueve a través de la tubería de ventilación y las vías, arrastran el polvo y los gases químicos que provienen de las operaciones mineras y el tráfico vial (coches y personal, por ejemplo). A menos que el aire esté sujeto a filtración adicional, los materiales arrastrados podrían entrar en la cámara catalítica de los oxidantes y estropearla. Por lo tanto en las minas piloto se recomienda equipos oxidantes que no utilicen catalizadores.

5.2.1.2. Operación:

Los RTO son operados como unidades independientes, en general se instalan cerca de la ventilación, o évasé (campana salida de- captura de aire –VAM).

Figura 49. Ventilación con évasé a la salida de una mina subterránea de carbón.



Fuente: www.anguil.com

El évasé es una parte integral del sistema de ventilación de la mina y no debe ser obstruido por ninguna parte del sistema RTO. El évasé es un elemento que puede llegar a ser de alto riesgo por su proximidad a los ventiladores principales de superficie y por la elevada velocidad del aire que sale de él para llegar al RTO.

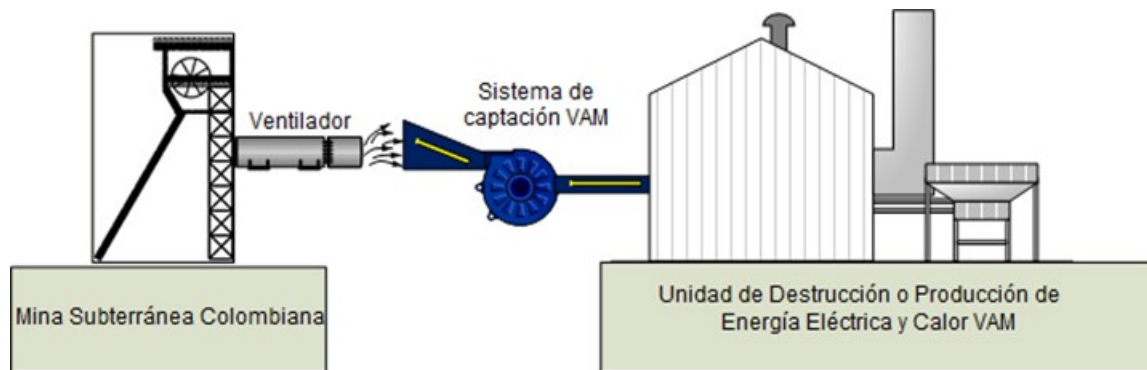
Aunque algunos operadores han conectado los RTO a los sistemas de ventilación por ejemplo en China, las autoridades de seguridad en minas podrían prohibir esta y lo recomendable es dejar separado el évasé del RTO, no solo para cumplir con los estándares internacionales de seguridad recomendados sino para no generar condiciones inseguras en la operación (salida de aire de la mina – entrada de aire al RTO) ver figura 53.

El principal riesgo que se corre si la conexión entre el évasé y el RTO es directa, es el de provocar una obstrucción en la ventilación, de igual manera la conexión directa también podría provocar una caída de presión y reducirá la eficiencia de extracción del sistema de ventilación.

Para el caso de minas subterráneas de gran tamaño que tienen rutas específicas para la ventilación y que tienen grandes ventiladores para mover grandes

volúmenes de aire, este puede ser un problema menor; pero para el caso de minas de tamaños pequeños (como el que nos ocupa en este proyecto), es necesario dejar un espacio entre el évasé y la entrada al RTO para garantizar la seguridad en el equipo y la mina.

Figura 50. Esquema distancia entre el évasé y el RTO



Fuente.

5.2.1.3. Sistema de transporte del VAM:

El flujo de aire se transportará desde el colector VAM (sistema de captación) hasta la unidad de destrucción mediante un conducto de acero, este conducto tendrá el diámetro suficiente para minimizar la fricción del flujo de aire y las pérdidas por choque.

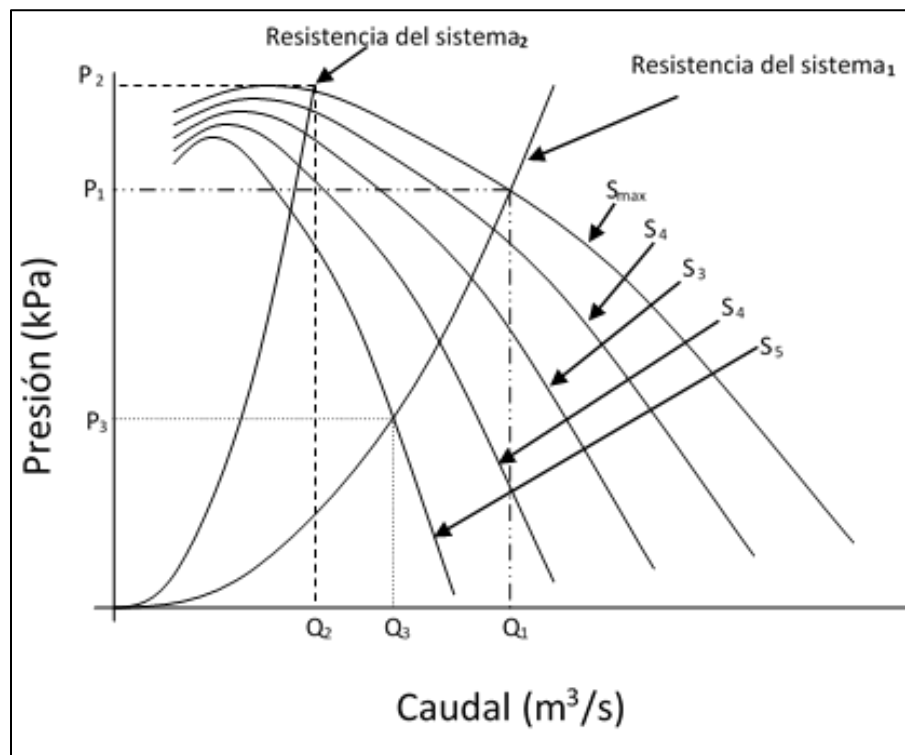
El conducto estará equipado con grandes compuertas de acceso para facilitar la limpieza, el aire que entra en el conducto de transporte VAM tendrá una alta carga de polvo y una humedad muy alta, por lo que la tasa de acumulación de polvo en el conducto será significativa.

Será necesario instalar un ventilador como parte integral del conducto de transporte de VAM, con el objeto de compensar la resistencia del conducto y la suma de las pérdidas por choque impuestas por los cambios de dirección del flujo de aire. El conducto se diseñará de tal manera que evite cualquier expansión repentina o contracción repentina que cause resistencia adicional al flujo.

El ventilador de transporte VAM debe ser un tipo de flujo axial de baja presión con control electrónico de velocidad para facilitar el control remoto. El motor del ventilador, los monitores locales y el cable deben ser a prueba de llamas porque el ventilador y su equipo se ubicarán en la zona de tránsito y en contacto con el gas y el aire de la mina contaminado con polvo.

En la Figura 51 se muestran las curvas características típicas del ventilador, incluyen el punto de trabajo de diseño con "margen de presión" adicional y la capacidad de flujo adicional de contingencia proporcionada por el motor de velocidad variable.

Figura 51. Curvas características del ventilador de transporte VAM.



Fuente.

Dónde:

- De **S1** a **Smax** son las velocidades del ventilador.
- **P1/Q1** es el máximo rendimiento posible en la resistencia actual del sistema (resistencia del sistema1)
- **P3/Q3** es el trabajo mínimo (velocidad más lenta) en la resistencia actual del sistema (resistencia del sistema2)

Si la resistencia del sistema aumenta, por ejemplo, debido a la acumulación de polvo en el conducto, en las curvas del ventilador hay un margen para aumentar la presión requerida (entre P1 y P2), pero con un coste significativo en el flujo de aire (entre Q1 y Q2).

5.2.1.4. Riesgos en la operación.

El gas metano es un gas explosivo y representa un riesgo (peligro) permanente al momento de su captura, en su almacenaje y en el momento de su utilización.

Los dispositivos de seguridad del sistema RTO “ayudan” a controlar este riesgo. Sin embargo, las experiencias en otras partes del mundo han demostrado que existe la posibilidad de recalentamiento de las cámaras si se producen emisiones inesperadas de metano de concentración superior a lo normal que pasan a la unidad de destrucción del VAM, de igual manera tecnologías como la que desarrolló ANGUIL permiten a través de controles internos estabilizar el equipo cuando se producen estos incrementos inesperados.

Para evitar estos aumentos inesperados de las concentraciones de metano, es necesario realizar mediciones y supervisiones periódicas y rigurosas de las concentraciones de metano, en especial en los tramos finales del sistema de ventilación (en la mina), con el objeto de hacer más seguro el sistema de destrucción del VAM.

Establecidas las condiciones internas de seguridad del sistema RTO y del sistema de ventilación, se deberán establecer medidas de seguridad externas al sistema.

- Lo primero que hay que hacer es establecer una "zona de riesgo" o zona de exclusión de (para) seguridad alrededor del punto de descarga.
- En la zona de exclusión debe prohibirse fumar, utilizar equipos inseguros, es necesario utilizar equipos a prueba de llamas por ejemplo, se deben prohibir equipos de llama descubierta y todos los equipos personales como teléfonos, relojes y otros de características similares y que utilicen baterías que puedan generar algún tipo de chispa.
- Las visitas a la zona en donde se localiza el sistema RTO se deben prohibir, salvo las que estén relacionadas con paradas prolongadas de los ventiladores o de mantenimiento del equipo o por una emergencia grave bajo tierra, es decir, por un estallido significativo de gas. (Esto último se podría presentar debido a la presencia de una mezcla explosiva de gas/aire).

5.2.1.5. Lugar de instalación.

Aunque los equipos para proyectos VAM se soportan sobre patines, el sitio en donde se instala en VAM tiene que cumplir unos requisitos básicos.

El sitio debe en lo posible ser plano, sobre él se debe construir una plataforma de carga en concreto nivelada y estable, con suficiente área (ver Figura 47) para

permitir que el sistema VAM, sus equipos y la sala de control se instalen sin que las demás actividades interfieran con el sistema.

El área en donde se localizara el sistema debe estar protegida y se debe instalar una verja y delimitar una zona de exclusión con sus respectivos avisos de advertencia de “peligro” para visitantes alrededor del área.

5.2.1.6. Suministro de agua.

Para el funcionamiento del sistema RTO de oxidación propuesto, las necesidades de agua son mínimas, el agua se necesita solo para limpieza, que puede ser suministrado por un carro tanque.

- **Nota:** “Si el proyecto fuera para generación de energía, se necesitaría una buena cantidad de agua para la generación de vapor; si este fuera el caso, en el área no hay una fuente de agua suficiente, se tendría que construir un acueducto que alimentara este sistema”, estas cantidades dependen a su vez de las cantidades de VAM y de la energía a generar.

5.2.1.7. Infraestructura energética.

Los requisitos de infraestructura energética incluyen la electricidad para el funcionamiento de los ventiladores auxiliares y los equipos de control de la mina. El gas natural debe estar disponible para la puesta en marcha del proceso aunque se conciba como un sistema pequeño.

Cuando el gas natural u otro gas es necesario para la puesta en marcha, los volúmenes necesarios serán determinados por el tamaño del sistema, pero podrían ser suministrados por el tanque de GNL in situ.

La alimentación trifásica de 440 voltios es el requerimiento común de alimentación eléctrica, pero los requerimientos específicos para una alimentación eléctrica específica serán determinados por el equipo de destrucción de VAM que se seleccione. En el área se tiene un sistema eléctrico de 440v y varios transformadores de 70 y 120 Kw.

5.2.2. Selección de la Tecnologías para VAM más apropiadas

Las diferentes empresas que disponen de tecnología RTO adecuadas para las condiciones de las minas Colombianas son listadas en la Tabla 59 y aunque las tecnologías para VAM desarrolladas por las diferentes empresas son similares, sus requerimientos mínimos de flujo de aire de ventilación y la concentración de metano en los ductos varían en cada una de las soluciones.

Los volúmenes totales de flujo de aire de ventilación requeridos para operar las tecnologías estudiadas varían entre 900 y 125,000 metros cúbicos por hora, las concentraciones de metano contenidas en el aire de ventilación (VAM) requeridas oscilan entre 0,15 y 1,5 por ciento.

Tabla 59. Comparación de las especificaciones de tecnología VAM.

Empresa	Requisito mínimo de flujo de aire de ventilación (m ³ /hr)	Requisito mínimo de concentración de metano en los ductos de Ventilación (%)
CANMET	900	0.15
DÜRR	6,287	0.20
DÜRR	101,952	0.20
GULF COAST ENVIRONMENTAL SYSTEMS	8,496	0.25
SHENGLI SHANDONG	60,000	0.25
BIOTÉRMICA	16,992	0.20
MEGTEC	125,000	0.20
ENER-CORE	6,796	1.50
ANGUIL		

Fuente

5.2.2.1. Datos de las minas del área piloto

Para este aparte del informe se trae desde el diagnóstico de las minas del área piloto la información necesaria para hacer la comparación técnica entre cada una de las tecnologías.

En la Tabla 60 se muestra la lista de minas estudiadas, contiene los datos de producción de metano y del aire recolectado en los puntos de salida de la mina y en los sitios de aforo seleccionados. Los volúmenes totales de flujo de aire de ventilación de las minas oscilan entre 2.912 y 26.388 m³/h, con un rango de concentración de metano entre 0,01 y 0,69 %. Los volúmenes de flujo de aire de ventilación de los distintos ejes de extracción en las minas oscilan entre 727 y 16.020 metros cúbicos por hora, y la concentración de metano en el aire de los distintos puntos de salida oscila entre el 0,00 y el 1,00 por ciento.

Tabla 60. Minas seleccionadas, datos de carbón y VAM

Minas	Producción anual de carbón (tons)	Flujo de metano (m ³ /año)	Flujo de aire de ventilación (m ³ /hr)	Concentración de metano en los ductos ventilación (%)
UNIMINAS S.A.S. ZONA NORTE				
Mina de San Miguel	14,592	932,663	18,780	0.57
Inclinado San Miguel 1 roble (Abscisa 10)		265,410	8,760	0.40
Tambor de ventilación Zuncho 2 al sur (superficie)		164,005	2,460	0.80
T. de Ventilación Sur Z 2. Cisquera - Superficie		437,944	5,040	1.00
Nivel Norte 3 Com/cion Diamante 7 (Abscisa 10)		65,303	2,520	0.30
Mina de La Ceci	11,520	525,035	16,128	0.37
Nivel Norte Tesoro - Comunicación Inv, Siatoba Milagro		97,044	3,744	0.30
Inclinado Milagro (Abscisa 20)		427,991	12,384	0.40
Mina de La Virgen	4,080	322,922	5,371	0.69
Tambor Ventilación Norte Cisquera 2 BM 1		21,991	727	0.35
Tambor Inclinado Ventilación Sur Cisquera 2 BM 2		300,931	4,644	0.75
Mina de El Rubí el Callejón	6,672	88,071	2,912	0.35
Mina de El Futuro Dos	3,324	194,089	5,616	0.39
Mina de Inversiones Siatoba LTDA	10,560	549,888	17,942	0.35
Nivel Norte Bolas Com/cion Mina A, Quiroga (Nivel 180)		76,049	8,802	0.10
Inclinado Consuelo (Abscisa 10)		473,838	9,140	0.60
Mina de La Jabonera 1 y 2	4,728	5,659	11,189	0.01
Inclinado 1 (Abscisa 30)		4,215	9,756	0.00
Tambor de Ventilación Norte Superficie - BM1		1,444	1,433	0.01
Mina de Rinconcito	28,080	258,163	14,940	0.20

Fuente. Uniminas-Promincarg-Consultor.

5.2.2.2. Método de comparación:

Obtenidos los datos se realizó una comparación gráfica (De estas tecnologías, comparados con sus pares tecnológicos, la de ANGUIL tiene la capacidad de procesar las menores cantidades de VAM (5000m³/h, con porcentajes de alrededor del 0,2 % de metano).

Esto quiere decir que la producción de VAM y la concentración de metano de las minas seleccionadas cumplen con las condiciones mínimas de operación requeridas por la unidad de destrucción del VAM de ANGUIL.

Figura 52) entre cada unidad de destrucción de VAM (tecnología - empresas) y las diferentes minas de carbón estudiadas (en color rojo). Esta comparación se hizo mediante el trazado de la concentración de metano en el aire vs el volumen de flujo de aire de ventilación requerido por cada tecnología y registrado en cada mina.

Al comparar las minas, enfrentando la capacidad de una tecnología dada (con base en las especificaciones mínimas de operación del desarrollador) vs los datos reportados por la minas. Los resultados de esta comparación se muestran en el Figura 55, características VAM de las minas estudiadas vs capacidad de destrucción VAM de las diferentes tecnologías.

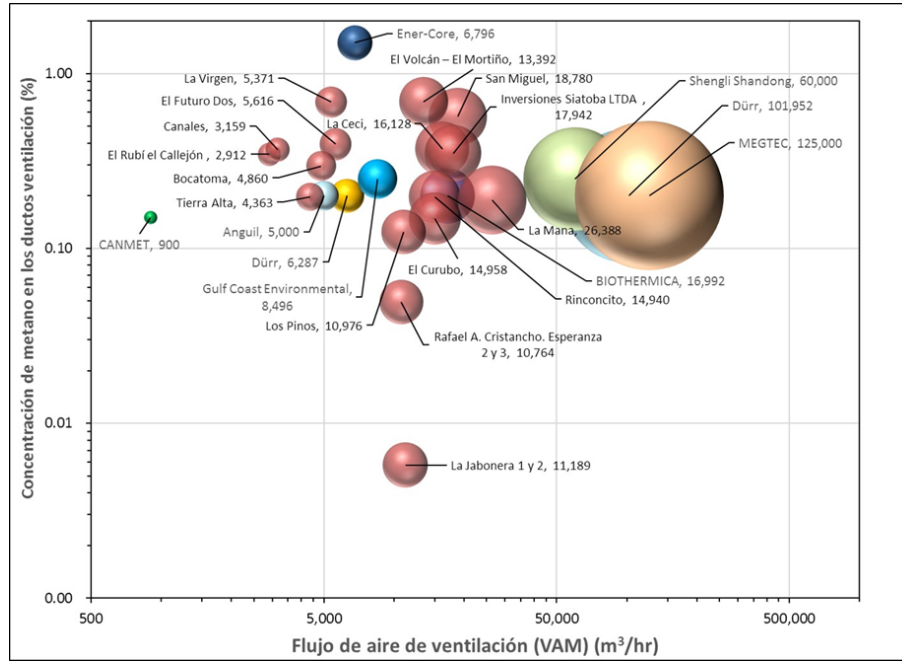
5.2.2.3. Resultado de la comparación:

De estas tecnologías, comparados con sus pares tecnológicos, la de ANGUIL tiene la capacidad de procesar las menores cantidades de VAM (5000m³/h, con porcentajes de alrededor del 0,2 % de metano).

Esto quiere decir que la producción de VAM y la concentración de metano de las minas seleccionadas cumplen con las condiciones mínimas de operación requeridas por la unidad de destrucción del VAM de ANGUIL.

Figura 52. Porcentajes de metano (minas) comparados con las diferentes tecnologías.

Figura 53. Porcentajes de metano (minas) comparados con las diferentes tecnologías.



Fuente. Consultor.

5.2.2.4. Descripción del equipo propuesto.

Como se dijo anteriormente, todos los RTO desarrollados por las empresas aquí mencionados son relativamente similares y cumplen con el objeto de oxidar el metano del aire de los ductos de ventilación de las minas subterráneas de carbón. Anteriormente se explicó su funcionamiento, operación y principales características. De igual manera se mencionaron las condiciones mínimas exigidas en términos de volumen de aire, concentración de metano, sistema de ventilación y otros requisitos para la instalación de un sistema RTO en las minas piloto seleccionadas.

De las empresas reseñadas, ANGUIL ENVIRONMENTAL SYSTEMS, INC., con sede en Milwaukee, Wisconsin, USA., entrego las principales características de su sistema RTO que se relaciona a continuación:

Sistema base estándar del RTO modelo 50.

- ✓ Flujo de diseño - 5,000 SCFM
- ✓ 98% de eficiencia de destrucción
- ✓ 95% de eficiencia de energía térmica
- ✓ Diseño de temperatura de oxidación de 1550°F

- ✓ Diseño montado sobre patín
- ✓ Reactor de acero al carbono de dos cámaras
- ✓ Aislamiento de fibra de cerámica de alta temperatura
- ✓ Medios de transferencia de calor de cerámica estructurados a alta temperatura
- ✓ Dos (2) válvulas de asiento verticales neumáticas con tanque de acumulación de aire comprimido
- ✓ Ventilador de sistema de tiro forzado
- ✓ Motor del sistema (TEFC, 460V / 3ph / 60Hz)
- ✓ Unidad de frecuencia variable
- ✓ Quemador (gas natural o propano encendido) y tren de combustible (diseño FM)
- ✓ Pila de escape
- ✓ Controles basados en PLC con pantalla táctil (HMI)
- ✓ Registrador de datos digitales y registrador de datos
- ✓ Comunicación remota a través de módem y conectividad Ethernet
- ✓ Ejecución y prueba de calidad de fábrica antes del envío
- ✓ Manuales de operación y mantenimiento

Características y capacidades adicionales.

- ✓ Servicios de puesta en marcha y capacitación de operadores
- ✓ Mejora a una mayor eficiencia de energía térmica
- ✓ Mejora a una calificación de eficiencia de destrucción más alta
- ✓ Inyección de combustible suplementaria (SFI)
- ✓ Bypass lateral caliente o frío
- ✓ Sistemas de tiro inducidos
- ✓ Sistemas halogenados con metalurgia personalizada
- ✓ Monitoreo de metano
- ✓ Évasé capucha de captura
- ✓ Instalación del sistema (llave en mano o solo supervisión)
- ✓ Programas de mantenimiento preventivo
- ✓ Paquetes de repuestos recomendados

Componentes del sistema.

En Tabla 61 y Tabla 62 se muestran los componentes del sistema y las especificaciones del equipo estándar de Anguil.

- ❖ El tamaño del quemador aquí propuesto es “mucho” mayor que el quemador normal, de modo que pueda responder de manera rápida a los aumentos significativos de los flujos de aire, sin perder temperatura de operación y sin que el equipo sufra algún tipo de daño. La eficiencia de este equipo es del 98%.

Tabla 61. Componentes del sistema

Componentes del sistema	
Procesador PLC	Allen Bradley Logix Family
Unidad de Frecuencia Variable	Yaskawa
Pantalla táctil	Pantalla de visualización en color Allen Bradley de 10 "
Registrador gráfico	Digital
Quemador	Maxon Kinemax
Sistema de ventilación	Twin City or New York Blower
PLC	Controlador Lógico Programable
Unidad de frecuencia variable	Las unidades de frecuencia variable son sistemas que permiten controlar la velocidad de giro de un motor eléctrico de corriente alterna. Controlan la frecuencia de la energía eléctrica suministrada al motor. Las unidades de frecuencia variable son un tipo específico de unidades de velocidad ajustable.

Fuente. Anquil Environmental Systems, Inc

Tabla 62. Especificaciones del equipo estándar.

Peso Lb	Footprint	Tamaño de la base sugerida	Tamaño del quemador	Tamaño del tren de combustible	Tamaño del ventilador del sistema
40.000	17x23'6"	20'x30'	1,5 MMBTU	1"	40 HP
Tamaño del ventilador combinado	Diámetro de entrada	Diámetro entrada de la pila	Amperios de carga completa	Gas Natural Requerido	Aire Comprimido Requerido
3 hp	20"	22" / 30"	48.3 amp	5 psig	80-100 psig (-40F punto de rocío)

Fuente. Anquil Environmental Systems, Inc

5.3. ADECUACIONES NECESARIAS DE LOS PROYECTOS SELECCIONADOS

Los diseños de los sistemas de ventilación implementados actualmente en las minas de carbón de Colombia no son los adecuados para posibilitar la implementación de un proyecto VAM, ya que generan múltiples obstrucciones a lo largo de la línea de flujo de los sistemas de ventilación como consecuencia de la disposición de varios ventiladores pequeños en la línea de flujo.

Lo más recomendable para posibilitar la implementación de proyectos VAM en Colombia, es hacer un proceso de reingeniería de los sistemas de ventilación que permita un flujo sin interrupciones,. (Comunicación Verbal Ray Pilcher).

En este ítem se hace una descripción de los sistemas de ventilación actuales y los rediseños que se deben realizar a estos, para la implementación del modelo de oxidación de gas metano de los ductos de ventilación VAM.

5.3.1. Proyecto 1: San Miguel–Canales – Inclinado Diamante 7.

5.3.1.1. Sistema de ventilación actual

Las minas que se integran en esta propuesta tienen un sistema de ventilación forzado, este circuito fue calculado por un ingeniero en minas con experticia en ventilación, las minas cuentan con isométrico de ventilación donde están ubicados los ventiladores, puntos de aforo, medición de los principales gases (CH₄, O₂, CO₂), dispositivos de ventilación tales como reguladores, puertas, conectores utilizados para controlar el movimiento del aire con áreas explotadas.

En la mina San Miguel existe un circuito de ventilación natural en el cual el aire limpio ingresa a la mina por el inclinado Yacimientos san miguel 2 y sale por el inclinado Yacimientos san miguel 1 (el roble), diamante siete y otra parte del aire sale por el tambor de ventilación de la mina Yacimientos San Miguel 2 ubicado al sur de la mina.

Este circuito de ventilación esta asistido por un ventilador principal ubicado en el tambor de ventilación de la mina Yacimientos san miguel 2 al Sur, por este tambor salen 2,261 m³/s de aire.; por el inclinado yacimientos san miguel 1 (El Roble) salen 3,1567 m³/s de aire y por la bocamina Inclinado Diamante 7 (Promincarg) salen 0,132 m³/s de aire, esta última es una labor que se encuentra derrumbada sin embargo sale aire contaminado, por lo que el total del aire que está saliendo de la mina es de 5,550 m³/s.

El aire limpio ingresa por el inclinado Yacimientos San Miguel 2 (4,870 m³/s), adicionalmente un ventilador centrífugo a modo soplante es decir con ducto (plástico) de ventilación por el cual ingresa 0,546 m³/s de aire y por último se considera el aire comprimido en una cantidad de 0,135 m³/s para un total de 5,551 m³/s de aire, siendo este el aire limpio que ingresa a la mina, logrando así el balance de la cartera de aforos de la mina Yacimientos san miguel (ver anexo B.1.).

Para este circuito de ventilación se tienen un ventilador principal axial eléctrico instalado en la bocamina del tambor de ventilación de la mina Yacimientos san miguel 2, de 3,5 HP y además se tienen ventiladores centrífugos que por ducto (plástico) llevan aire fresco a los frentes ciegos de la avance así: un ventilador de 6 HP, uno de 10 HP Otro de 10 HP y un cuarto ventilador de 7,5 HP.

La mina Canales cuenta con los siguientes equipos para ventilar: Ventilador Principal Centrifugo 9 HP eléctrico instalado a modo soplante en Superficie Cerca a Boca viento Sur Cisquera 2 impulsa un promedio de 1,147 m³/s; de acuerdo a aforo 10 llega a frente un caudal de 0,644 m³/seg; teniendo unas perdidas en el recorrido de 0,503 m³/seg, lleva aire fresco mediante ducto plástico de 250 al inicio y combinado en el recorrido de 200 y 130 mm a frente en avance hacia arriba Tambor para ventilación Proyectado a superficie.

Además tienen un Ventilador Principal Centrifugo 6 HP eléctrico instalado a modo soplante en Superficie Cerca a Boca viento Sur Cisquera 2 impulsa un promedio de 0,707 m³/s; de acuerdo a aforos 6, 12 y 13 llega a frente un caudal de 0,436 m³/seg; teniendo unas perdidas en el recorrido de 0,271 m³/seg, lleva aire fresco mediante ducto plástico de 200 mm al inicio y al final de 130 mm a frentes Inactivos Su Cisquera 2 y Zuncho 4 de Cisquera 2 y Frente Norte en avance Zuncho 4 de Cisquera 2.

5.3.1.2. Rediseño Del Sistema De Ventilación

A medida que las minas subterráneas se vuelven más profundas, las condiciones de ventilación se complican en la mina debido a las dificultades encontradas al tratar de cumplir con los flujos de aire requeridos. La resistencia de la minas aumenta debido a un desarrollo más extenso, el calor y los gases de la mina aumentan, lo que hace difícil mantener la mina ventilada.

En estas minas, la eficiencia volumétrica del sistema de ventilación es a menudo baja, y se necesitan ventiladores principales de alta presión con una gran capacidad de flujo volumétrico para lograr un flujo de aire adecuado.

El uso de ventiladores de refuerzo es un método para aumentar la eficiencia de los sistemas de ventilación, reducir la presión requerida del ventilador principal y reducir la tasa de flujo total al reducir las fugas de aire.

En las minas colombianas aun con buenas condiciones técnicas, los sistemas de ventilación actuales podrían verse abrumados por los repentinos flujos de gas provenientes de los mantos de carbón, los incendios o las explosiones, por tal motivo el proyecto piloto debe incluir un sistema de ventilación más confiable para garantizar la seguridad y permitir que la unidad de destrucción VAM demuestre su efectividad.

Por tal motivo se realizara un rediseño del circuito de ventilación de tal manera que el nuevo sistema capture de manera eficiente el metano en los ductos de ventilación.

Para el rediseño se propone evacuar todo el VAM por el tambor de ventilación sector Sur Zuncho1, para lograr implementar el sistema de esta manera de deben hacer los siguientes ajustes.

- ✓ En primer lugar se debe realizar la adecuación del tambor de ventilación ampliando la sección de vía que actualmente tiene un área de 0,93 m² se debe ampliar a 3m² con lo que se disminuye la resistencia regulada que es aquella oposición que las paredes, pisos y techos ejercen en el movimiento de aire a través de ellas esto permite mejorar el flujo de salida de aire.
- ✓ Se debe cambiar el ventilador principal existente que se encuentra ubicado en el tambor de ventilación de la mina Yacimientos san miguel 2 al Sur de 3,5 HP, este debe ser cambiado por un ventilador Tipo 2 VPN 600 o su equivalente con un rendimiento de 7,6 m³/s y fuerza en el motor de 20HP, instalado en modo aspirante en la boca del tambor de ventilación para asegurar que todo el VAM salga por el tambor.
- ✓ Para asegurar que todo el aire viciado salga por el tambor de ventilación de la mina Yacimientos san miguel 2 al Sur se deben instalar puertas de regulación en el inclinado Diamante 7, es de aclarar que este inclinado es el que comunicara la mina San Miguel con la Mina Canales por medio de niveles.
- ✓ Adicionalmente se deben instalar puertas de regulación en el inclinado San Miguel 1 y el inclinado Cisquera 2 (sector de Canales) para impedir que el VAM se pierda en estos puntos.
- ✓ Los ventiladores auxiliares con los que cuenta la mina siguen trabajando bajo las mismas condiciones en los frentes donde se tiene actualmente.

5.3.1.3. Aspectos técnicos a tener en cuenta:

Frente a los aspectos técnicos de la mina el método de explotación, las labores de desarrollo y preparación no tienen gran afectación en la implementación del proyecto VAM, sin embargo si se hacen unas series de recomendaciones que se deben aplicar en la mina como lo son:

- ✓ se recomienda ejercer el plan de sostenimiento planteado en el decreto 1886/2015 adicionalmente llevar un mantenimiento constante de los sistemas de sostenimiento haciendo un control estricto de las cavidades para evitar que el VAM se escape por allí. Teniendo en cuenta que el sostenimiento en las minas propuestas es con puerta alemana se recomienda un forrado adecuado de las vías con el objetivo de generar menos resistencia al aire.

- ✓ las zonas explotadas y vías abandonadas deben estar cerradas herméticamente dejando tubería para medición de metano y desague si es necesario.
- ✓ Uno de los requisitos indispensables para la ejecución del proyecto es llevar un sistema de monitoreo continuo de metano con varias estaciones de control con comunicación en superficie y un sistema de monitoreo de los ventiladores que midan como mínimo presión, temperatura, vibraciones con control en superficie. Estos controles son indispensables para identificar falencias en la cantidad de flujo de aire y corregirlas a tiempo.
- ✓ Se deben mantener las vías de ventilación bajo constante mantenimiento y libre de obstáculos que puedan generarle resistencia al caudal de aire que circula en la mina.
- ✓ Se recomienda que el experto en electricidad de la mina diseñe un sistema eléctrico de tal manera que en caso de cortos o sobrecargas se garantice que los ventiladores siguen funcionando correctamente dando cumplimiento al plasmado en el decreto 1886 de 2015 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE.

5.3.2. Proyecto 2: Volcán – Mortiño.

5.3.2.1. Sistema de ventilación actual

Las bocaminas el volcán y el mortiño están comunicadas entre si internamente por lo que forman un circuito de aire natural que está constituido de la siguiente manera: Por el inclinado de transporte siete bancos mina El Volcán ingresa 3,730 m³/s y recorre las vías internas de las minas hasta salir el aire contaminado por el inclinado de transporte cisquera 2 de la mina El Mortiño en una cantidad de 3,730 m³/s, para las dos minas se tienen ventiladores centrífugos que por ducto (plástico) llevan aire fresco a los frentes ciegos del avance así: un ventilador de 12 HP, uno de 7,5 HP y un tercero de 5,5 HP; este circuito de ventilación no tiene ventilador principal que asegure el circuito de ventilación natural de las minas (ver anexo B2)

5.3.2.2. Rediseño del sistema de ventilación

Para el rediseño del sistema de ventilación de esta mina se propone instalar un ventilador principal en el Nivel Norte cisquera 2 tipo VPN 600 o su equivalente , axial, eléctrico con potencia del motor de 7,5 KW , teóricamente tendría un rendimiento máximo de 3,8m³/s a presión máxima de 1600 Pa, lo que aumentaría el flujo de aire de la mina.

El aire viciado continúa saliendo por el inclinado de transporte cisquera 2 de la mina El Mortiño y los ventiladores auxiliares con los que cuenta la mina siguen trabajando bajo las mismas condiciones en los frentes donde se tienen actualmente.

5.3.2.3. Aspectos técnicos a tener en cuenta:

Frente a los aspectos técnicos de la mina el método de explotación, las labores de desarrollo y preparación no tienen gran afectación en la implementación del proyecto VAM, sin embargo si se hacen unas series de recomendaciones que se deben aplicar en la mina como lo son:

- ✓ se recomienda ejercer el plan de sostenimiento planteado en el decreto 1886/2015 adicionalmente llevar un mantenimiento constante de los sistemas de sostenimiento haciendo un control estricto de las cavidades para evitar que el VAM se escape por allí. Teniendo en cuenta que el sostenimiento en las minas propuestas es con puerta alemana se recomienda un forrado adecuado de las vías con el objetivo de generar menos resistencia al aire.
- ✓ Uno de los requisitos indispensables para la ejecución del proyecto es llevar un sistema de monitoreo continuo de metano con varias estaciones de control con comunicación en superficie y un sistema de monitoreo de los ventiladores que midan como mínimo presión, temperatura, vibraciones con control en superficie. Estos controles son indispensables para identificar falencias en la cantidad de flujo de aire y corregirlas a tiempo.
- ✓ Se deben mantener las vías de ventilación bajo constante mantenimiento y libre de obstáculos que puedan generarle resistencia al caudal de aire que circula en la mina.
- ✓
- ✓ Se recomienda que el experto en electricidad de la mina diseñe un sistema eléctrico de tal manera que en caso de cortos o sobrecargas se garantice que los ventiladores siguen funcionando correctamente dando cumplimiento al plasmado en el decreto 1886 de 2015 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE.

5.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Implementar un proyecto de oxidación térmica VAM en Colombia es crucial para el futuro sostenible de la minería subterránea del carbón, permitiendo la continuidad de la actividad extractiva mitigando las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para realizar la evaluación económica de los diferentes proyectos de la zona piloto se utilizó el modelo de flujo de caja para proyectos de metano de minas de carbón diseñado por la USEPA, que utiliza datos específicos para la industria del metano, y además se comparó con un flujo de caja financiero basado en las cotizaciones solicitadas para los proyectos VAM de las zonas piloto de las compañías ANGUIL y GCES y datos estimados por el consultor.

La implementación de un proyecto de oxidación térmica VAM, el cual es un proyecto pionero en Colombia se puede considerar de alto riesgo (desde el punto de vista político, legislativo, económico, tecnológico y desde luego ambiental). En general todo tipo de inversión minera está expuesta a un riesgo; sin embargo, en este tipo de proyectos que no generan ganancias económicas para mitigar el costo de inversión tiene un riesgo más alto, ya que todavía no existe un mercado de carbono en donde la empresa pueda participar de los beneficios de ingresos por disminuir la contaminación por metano (Toneladas de Carbón equivalente) y faciliten el retorno de la inversión.

En el mercado existen diferentes opciones para financiar proyectos relacionados con minería, tales como:

- ✓ Deuda bancaria: es una forma común de financiamiento para el desarrollo de proyectos mineros. Uno o varios prestamistas que otorgan deuda bancaria a largo plazo.
- ✓ Financiamiento para la adquisición de equipos que se puede lograr de varias maneras. por ejemplo, integrado a la financiación bancaria general para el proyecto. Alternativamente, el equipo requerido puede ser financiado a través de acuerdos de arrendamiento por separado. El préstamo se desembolsa progresivamente durante el período de construcción y luego se amortiza con los ingresos generados por la operación de la mina.
- ✓ El flujo de las finanzas se genera al vender un derecho a un producto básico a cambio de un pago inicial. Creando un derecho para que el comprador compre la totalidad o una parte de uno o más metales producidos de una mina; también se puede usar vender derechos sobre la producción de la mina como una regalía; que es en pocas palabras la creación de un derecho a un porcentaje de la venta de producción.
- ✓ Financiamiento del proyecto con recursos de la producción propios de las minas.
- ✓ Financiación canalizada a través de cooperación internacional.
- ✓ Financiación utilizando incentivos y subsidios gubernamentales.

Vida Útil Del Proyecto: La vida útil un proyecto VAM se debe relacionar directamente con la vida útil proyectada de producción de carbón de la mina. Para efectos de la simulación de los flujos de caja se definió una vida útil de 10 años.

Plan De Ventas: El producto final de la implementación de un proyecto VAM depende si es para generación de energía o solo para oxidación del gas metano.

De igual manera el objetivo final es evitar que el gas metano se vierta a la atmosfera ya que es un GEI muy potente, con una capacidad de contaminar mayor en casi 25 veces al CO₂.

De acuerdo con lo anterior, los productos de la implementación de un proyecto de este tipo son (deberían ser) los siguientes:

1. Venta de energía o producción de energía para consumo interno (reducción de costos de consumo de energía).
2. Ingresos por venta de bonos de carbono (en el país no existe un mercado de bonos de carbono, se debe plantear la creación de un mercado de bonos de CO₂e).

Venta de energía o producción de energía para consumo interno (o reducción de costos por consumo de energía): Como se mencionó en el capítulo anterior, para la implementación de un proyecto de generación es necesario que el volumen de aire de los ductos de ventilación sea al menos de 500.000 Nm³/h y el porcentaje de metano mínimo debe ser de 0,7% (UNECE (2010)).

De acuerdo con estos requisitos y los datos de “producción de aire y metano de las minas piloto, se concluye que estos últimos no permiten el desarrollo de un proyecto de generación de energía en estas zona.

Ingresos por venta de bonos de carbono. Disminución de contaminación: Aunque en el país no existe un mercado de bonos de carbono (CO₂e), se tuvo que recurrir a un escenario posible en donde este mercado existiría y en él se debería inscribir este proyecto.

Por lo tanto, las simulaciones de flujo de caja se hicieron con base en este mercado, los resultados que muestran las figuras (ver Figura 55, Figura 56, Figura 57 y Figura 58) indican los precios que deben tener los créditos de carbono para llegar al punto de equilibrio de los proyectos.

Costos de Capital Previos a la puesta en marcha del Proyecto: Todas las inversiones previas a la puesta en marcha del proyecto deben expresarse en el momento cero (0) del proyecto. El momento cero (0) es el momento en que se realiza el primer desembolso (se tendrán flujos negativos), de igual manera se puede incluir un ítem de gastos financieros, que representaran el costo de los recursos invertidos (de capital),

Costos generales del proyecto: Para el proyecto se definieron los costos de inversión como costos generales del proyecto y se determinaron de acuerdo con los datos consultados con ANGUIL Environmental Systems, Inc, GCES y fuentes nacionales entre ellos UNIMINAS ; en la Tabla 63 se muestra la estructura de costos definida para los dos (2) proyectos piloto. Los costos generales estimados para un proyecto de oxidación se pueden clasificar en tangibles e intangibles, costos de operación, costos de mantenimiento y costos de capital.

Es de resaltar que los dos proyectos presentan similitud en sus características mineras y aunque presentan diferencias en la producción de VAM, los costos de inversión son similares para los dos proyectos ya que los equipos deben tener las mismas características técnicas, igual sucede con los costos de mantenimiento, de transporte y de nacionalización.

Tabla 63. Ejemplo Estructura de costos fijos tangibles proyecto VAM para minas tipo San Miguel

1. TANGIBLES			
A. OBRAS FISICAS			
ITEM	ACTIVIDAD / EQUIPO	USD	
En la mina	Adecuación del sistema de ventilación (obras de reforzamiento del sostenimiento, ventiladores, ductos de transporte del aire, évassé	30.000,00	
En superficie	Adecuación del terreno	10.000,00	
	Construcción de la plataforma para la instalación del equipo	30.000,00	
INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS DE APOYO	Estudios de diseño y construcción de infraestructura eléctrica, de colectores de aguas lluvias, de gas y de bombeo de ser necesarios. De igual manera talleres, bodegas, oficinas de operación	30.000,00	
TOTAL OBRAS FISICAS		100.000,00	
B. PLANTA Y EQUIPO			
ITEM -ACTIVIDAD		USD	
RTO y évassé		295.000,00	
Tuberías		50.000,00	
Transporte desde usa		20.000,00	
Nacionalización		20.000,00	
Almacenaje		20.000,00	
Transporte a la mina desde puerto		10.000,00	
Instalación equipo		20.000,00	
2. INTANGIBLES			
ITEM	ACTIVIDAD / EQUIPO	USD	
Estudio de factibilidad		30.000,00	
Costos de modificación del PTO		20.000,00	
Costos de modificación de la licencia ambiental		20.000,00	
Costos de asesoría legal		10.000,00	
Costos de personal en la construcción y puesta en marcha del proyecto.		30.000,00	
Costos de puesta en marcha		10.000,00	
Costos de capacitación		20.000,00	
OTROS COSTOS			
Costos de operación	Generales de oficina (año)		10.000
	De personal (año)		10.000
	Servicios Públicos	Electricidad (año)	30.000
		Energía (año)	20.000

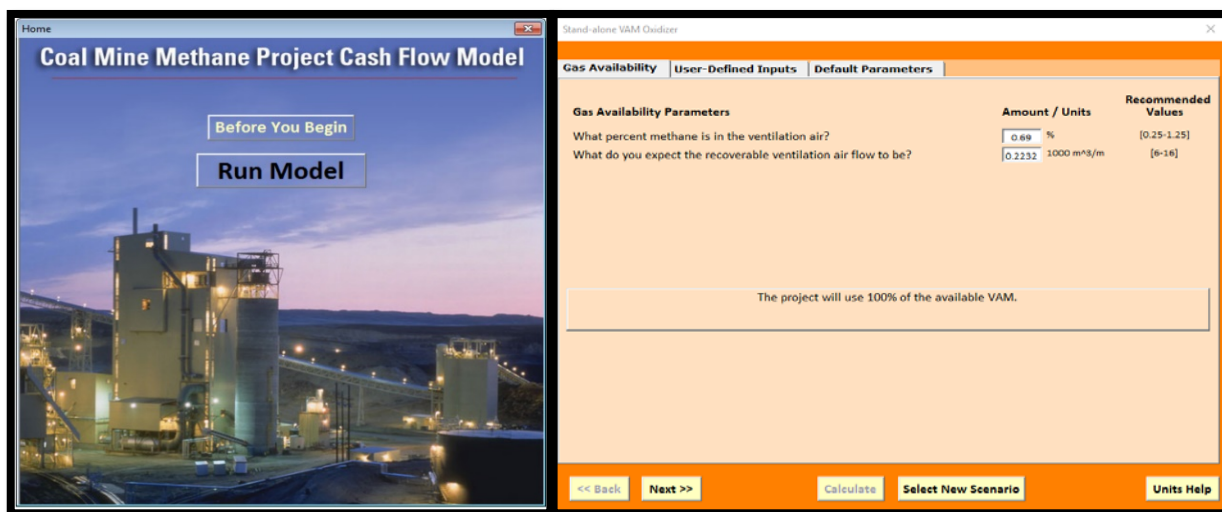
De Mantenimiento	De personal técnico (año)	12.000
	Limpieza Ventilación	10.000
	Kit de repuestos	25.000
De capital	Financieros (4%)	29.400
	Inflación	7%
	De capital (ponderados)	10%

5.4.1. Flujo De Caja Simulador USEPA

La Simulación económica de las minas seleccionadas se realizó utilizando el modelo de flujo de caja de la U.S. EPA Environmental Protection Energy

Para comparar el rendimiento económico de proyectos RTO se utilizó el modelo de flujo de caja (Figura 54), diseñado por el programa de alcance de metano coalbed (CMOP Coalbed Methane Outreach Program) perteneciente a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA Environmental Protection Energy), cuya intención es ayudar al propietario u operador de las minas a nivel mundial a evaluar el potencial y la viabilidad económica de usar el metano de las minas de Carbón.

Figura 54. Modelo de Flujo de Caja de Proyectos de Metano de minas de Carbón



FUENTE: (<https://www.epa.gov/cmop/cmm-cash-flow-model>)

Sin embargo, se hace la salvedad con relación al alcance del análisis económico obtenido con el modelo de flujo de caja de la EPA ya que, según especificaciones de la misma institución ambiental, el modelo “no fue diseñado para obtener un análisis económico detallado para el diseño de un proyecto de Metano”, por lo tanto, se recomienda conducir dicho estudio por un “profesional experto y calificado en

recuperación y uso de metano de minas de carbón”. En nuestro caso se realizó por el asesor de la empresa RAVEN RIDGE RESOURCES INCORPORATED (Raymond Pilcher, James S. Marshall). www.ravenridge.com.

Para llevar a cabo las simulaciones en el modelo de flujo de caja, se requiere hacer uso de un conjunto de datos relacionados con la operación de la mina y la producción de metano proveniente del sistema de ventilación, además de algunos parámetros adicionales (Tabla 64). Con lo anterior, el modelo está en la capacidad de brindar información económica que sirve de herramienta para estimar los costos de implementación de un proyecto VAM con las condiciones de la mina del operador, tal como:

- Costo de Capital
- Costo de Operación
- Tamaño del proyecto
- Créditos de energía renovable vendibles (Para el caso en el que exista un mercado de bonos o créditos de Carbono)
- Valores económicos como:
 - Tasa Interna de Retorno
 - Valor Presente Neto (VPN)
 - Periodo de amortización
 - Flujo de caja

Tabla 64. Información requerida por el modelo de flujo de caja de la EPA (Insumos de Costos).

DISPONIBILIDAD DE GAS	UNIDADES
¿Cuál es la concentración de metano en el aire de ventilación?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el flujo de aire de ventilación que espera recuperar?	1000 m ³ /m
DATOS DE ENTRADA DEFINIDOS POR EL USUARIO	UNIDADES
¿Cuál es el tiempo de vida operacional planeado para el proyecto?	Años
¿A qué término es el préstamo?	Años
¿Cuál es la tasa de interés aplicada al préstamo?	Porcentaje (%)
¿Cuál es la participación de capital del promotor del Proyecto?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el precio de venta de la unidad de crédito de carbono?	US \$/Tonelada CO ₂ E
¿Cuál es el costo de capital instalado del sistema de oxidación VAM?	US \$/m ³ /m
¿Cuál es el costo de operación y mantenimiento anual del sistema de oxidación VAM?	US \$/m ³ /m-año
¿Cuál es la frecuencia con la que será reubicado el sistema de oxidación VAM?	Años
¿Cuál es el costo de reubicación del Sistema de oxidación VAM (Incluyendo la preparación del nuevo sitio)	US \$/m ³ /m
¿Cuál es la carga eléctrica de los ventiladores?	kWh/1000 m ³
¿Cuál es el costo de la energía eléctrica usada por el Proyecto?	US \$/MWh
PARÁMETROS POR DEFECTO	UNIDADES
¿Cuál es la tasa de inflación?	Porcentaje (%)
¿Cuál es la tasa real de descuento?	Porcentaje (%)
¿Cuáles son los regalías e impuestos de cesantías?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el factor de contingencia?	Porcentaje (%)
¿Cuántas horas por año estará en operación el Sistema de oxidación VAM?	horas/año
¿Cuáles son los costos indirectos del Proyecto?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el costo de validación, verificación y transacción para monetizar los créditos de carbono?	US \$/Tonelada CO ₂ E

En las simulaciones del modelo de flujo de caja se asumió que las instalaciones de oxidación van a operar durante un período de 10 años en minas de carbón seleccionadas, con volúmenes de flujo de ventilación y concentraciones de metano variables.

La información del flujo de ventilación y la concentración de metano recolectada para cada una de las tres minas, Canales, San Miguel y El Volcán, así como una mina hipotética fueron utilizadas como insumos en el modelo (Tabla 65).

El análisis de la mina hipotética se corrió con un flujo de ventilación de 84 metros cúbicos por minuto (5.000 metros cúbicos por hora), como valor promedio de las minas medidas en el actual estudio, menos un 35% como un valor representativo recomendado por el experto internacional, y se evaluaron concentraciones de metano de 0,25% a 1,0% en el aire para evaluar el impacto de las concentraciones variables de metano en el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto.

Tabla 65. Parámetro de flujo (de mina), gastos de capital (RT CAPEX) e indicadores económicos.

Mine	Scenario	CH4 Conc.	Total Flow (m3/m)	CAPEX - Low Case (1,000 USD)	CAPEX - Mid Case (1,000 USD)	CAPEX - High Case (1,000 USD)	Net Present Value - Low Case (1,000 USD)	Net Present Value - Mid Case (1,000 USD)	Net Present Value - High Case (1,000 USD)
San Miguel	Base Case	0.57%	0.313	\$267	\$301	\$334	(\$505)	(\$551)	(\$584)
San Miguel	GCES prices	0.57%	0.313	\$350			(\$759)		
Canales	Base Case	0.37%	0.053	\$45	\$51	\$57	(\$85)	(\$90)	(\$96)
El Volcán – El Mortiño	Base Case	0.69%	0.223	\$190	\$215	\$238	(\$376)	(\$400)	(\$424)
El Volcán – El Mortiño	with CARB Price @ \$14.75	0.69%	0.223	\$190			\$490		
N/A	Base Case	0.25%	0.084	\$72	\$81	\$90	(\$131)	(\$141)	(\$149)
N/A	Base Case	0.50%	0.084	\$72	\$81	\$90	(\$137)	(\$146)	(\$155)
N/A	Base Case	0.75%	0.084	\$72	\$81	\$90	(\$143)	(\$151)	(\$161)
N/A	Base Case	1.00%	0.084	\$72	\$81	\$90	(\$149)	(\$158)	(\$167)

Fuente: Asesor internacional Raven Ridge Resources

El modelo de flujo de caja permite al usuario seleccionar valores de un rango sugerido de costos que la EPA recopiló de los proveedores o que el usuario puede optar por utilizar como valores de entrada que ha recibido de otros proveedores de equipos.

Los costos de capital de los RTOs utilizados en el modelo se expresan en USD por metro cúbico por minuto de flujo VAM total. Se eligió utilizar los valores altos, medios y bajos para los rangos de costos de capital de equipo; esto da como resultado tres valores separados del cálculo del modelo para el Valor Presente Neto (VPN) de cada uno de los proyectos mineros potenciales (casos bajo, medio y alto).

La duración del proyecto se fijó arbitrariamente para diez años de operación. Además, se hacen algunas suposiciones que no se tienen en cuenta en el análisis, incluyendo.

- El sistema de oxidación VAM se encuentra ubicado cerca del evasse o salida del VAM, y será reubicado cuando el evasse se reubique a un nuevo frente de carbón.
- El sistema de oxidación VAM es usado únicamente para créditos de carbono y no para la recuperación de calor residual.
- La eficiencia de destrucción de los sistemas de oxidación VAM para el propósito de créditos de carbono es del 95%.
- El costo de Capital incluye: un mínimo de ductos de ventilación, ventiladores de los ductos de ventilación y el sistema de oxidación VAM.
- Los costos anuales incluyen, la operación y mantenimiento del sistema de oxidación VAM, electricidad para los ventiladores de los ductos, y una reubicación periódica del sistema de oxidación VAM.

- Los ventiladores funcionan las 24 horas del día, los siete días de la semana durante 8.000 horas al año, con mínimos contratiempos.
- No hay costos en el modelo asociados con la purificación del aire de ventilación.
- No hay costos en el modelo asociados con hacer las modificaciones necesarias a los sistemas de ventilación existentes para acomodar los sistemas RTO.
- Tarifas de importación e impuestos de nacionalización y gasto adicionales no están incluidos.

En el Apéndice 2 (Simulaciones – Modelo de flujo de Caja, documento Excel) se detalla todos los insumos de costos, así como los principales indicadores económicos para cada escenario.

5.4.1.1. Escenario sin mercado de carbono:

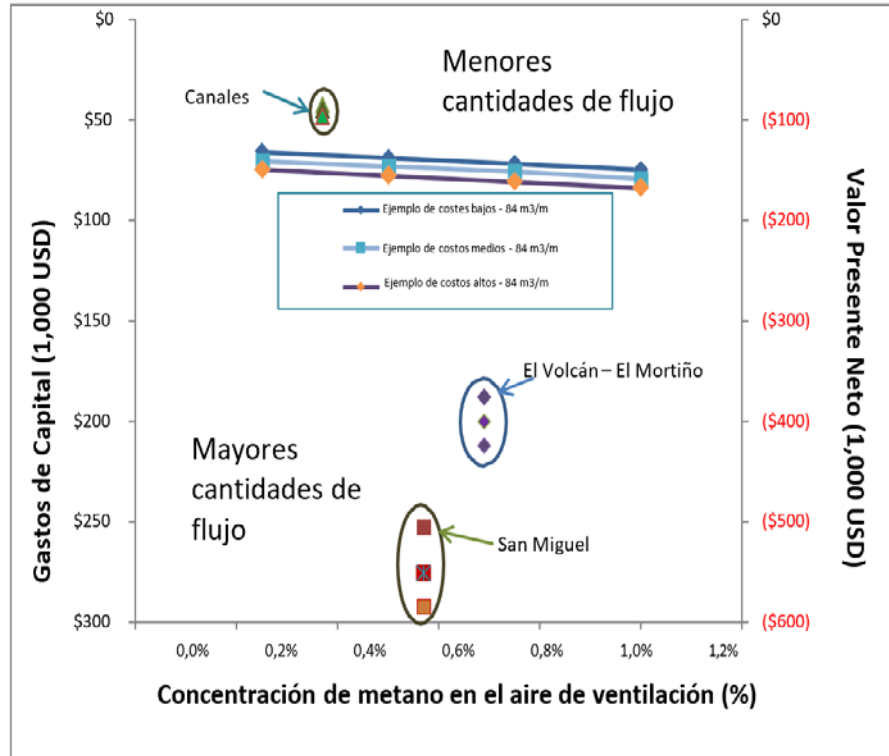
La Figura 55. Requerimientos de capital y VPN del proyecto sin un mercado de carbono. muestra una familia de tres líneas paralelas que se generaron para las minas hipotéticas seleccionando valores altos, medios y bajos para los costos de capital del RTO como insumos para calcular el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto. Por encima de estos resultados del caso base, se encuentra la mina Canales que tiene un flujo más bajo que el caso base y por debajo del caso base se encuentran las minas San Miguel y El Volcán, que tienen flujos más altos. El gráfico muestra una mayor varianza para las minas con mayores flujos debido a que los rangos en los insumos de costos se multiplican por mayores valores de flujo.

Los ejercicios económicos realizados para un escenario en el que no existe un mercado de carbono (o incentivo del gobierno) que permita ingresos al proyecto, muestran resultados negativos de VPN en todos los casos, pues no tendrá ningún ingreso. Los VPN's resultante para todos los escenarios son negativos, esto debido a que no hay fuentes de ingresos para un proyecto de destrucción de VAM en Colombia. La Figura 56 es un ejemplo de análisis del flujo de caja para estos escenarios.

Los ingresos pueden generarse a partir de un proyecto de energía VAM, que como ya se explicó anteriormente, no es viable debido a las pocas cantidades de metano producido en las minas piloto

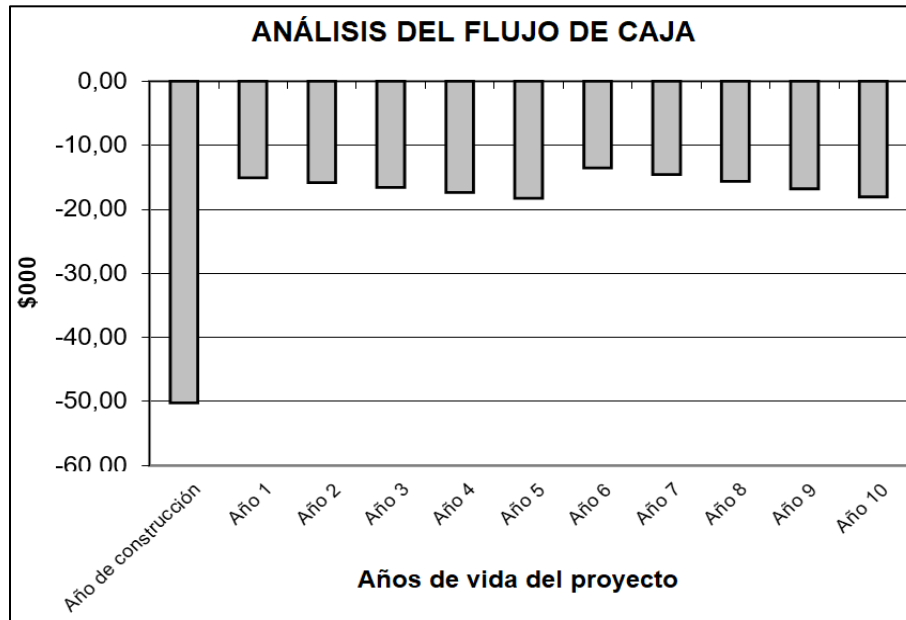
Otra “manera” de generar ingresos, es la “venta” de créditos de carbono en un mercado establecido (de bonos de carbono), o de un proyecto que podría producir electricidad y reclamar créditos de un mercado de carbono.

Figura 55. Requerimientos de capital y VPN del proyecto sin un mercado de carbono.



Fuente. Asesor internacional Raven Ridge Resources

Figura 56. Análisis de flujos de caja para el proyecto VAM-RTO, sin fuente de ingresos.



Fuente. Asesor internacional Raven Ridge Resources

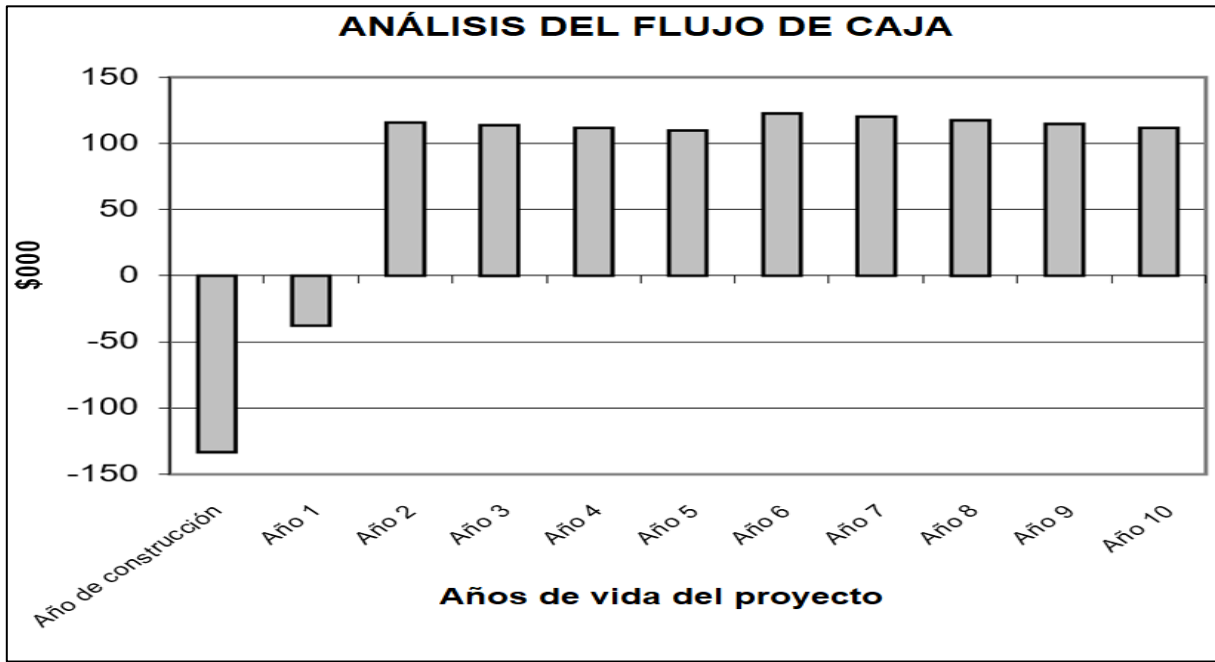
5.4.1.2. Escenario con mercado de carbono:

Se hizo el ejercicio para la mina Volcán – Mortiño, en un mercado que comercie el carbono en igualdad o en condiciones similares (por ejemplo), con el mercado de "California Air Resources Board", este ejercicio resulto con Valores Presentes Netos (VPN) positivos, como se muestran Figura 59. Un valor de bonos de carbono entre US\$14 y 15 dólares sería ideal para los proyectos de VAM en Colombia, permitiendo un flujo de caja positivo al año 3.

Como ejemplo, si el precio del carbono se fijara en 14.75 USD, que es el último precio de subasta en el mercado de Cap and Trade de California (CARB), un proyecto RTO en la mina El Volcán - El Mortiño resultaría en un Valor Presentes Neto VPN de 490,000 USD y una Tasa interna de retorno TIR del 48%.

La Figura 57 muestra el análisis del flujo de caja para este escenario con mercado de carbono con un valor de 14,75 USD..

Figura 57. Análisis de flujo para el proyecto VAM-RTO - ventas de carbono a US \$14,75/ ton CO₂e. El Volcán – El Mortino



Fuente. Asesor internacional Raven Ridge Resources

Figura 58. Punto de equilibrio de precio de carbón para cada escenario.

Mine	Scenario	CH4 Conc.	Total Flow (m3/m)	Breakeven Carbon Price - Low Case	Breakeven Carbon Price - Mid Case	Breakeven Carbon Price - High Case	Comments
San Miguel	Base Case	0.57%	0.313	\$7.62	\$8.12	\$8.61	
San Miguel	With GCES prices	0.57%	0.313	\$11.18			CAPEX=350,000 USD & OPEX=\$50,000/year
Canales	Base Case	0.37%	0.053	\$11.42	\$12.20	\$12.95	
El Volcán – El Mortino	Base Case	0.69%	0.223	\$6.41	\$6.82	\$7.21	
El Volcán – El Mortino	with CARB Price @ \$14.75*	0.69%	0.223	\$14.75			NPV=490,000 USD & IRR=48%
N/A	Base Case	0.25%	0.084	\$16.70	\$17.85	\$18.99	
N/A	Base Case	0.50%	0.084	\$8.60	\$9.18	\$9.71	
N/A	Base Case	0.75%	0.084	\$5.96	\$6.33	\$6.69	
N/A	Base Case	1.00%	0.084	\$4.63	\$4.93	\$5.19	

* California Cap and Trade Program latest joint auction settlement price

Fuente. Asesor internacional Raven Ridge Resources

De igual manera y con base en el valor de los créditos de carbono, se hizo el ejercicio para hallar el valor que deben tener los créditos de carbono para alcanzar

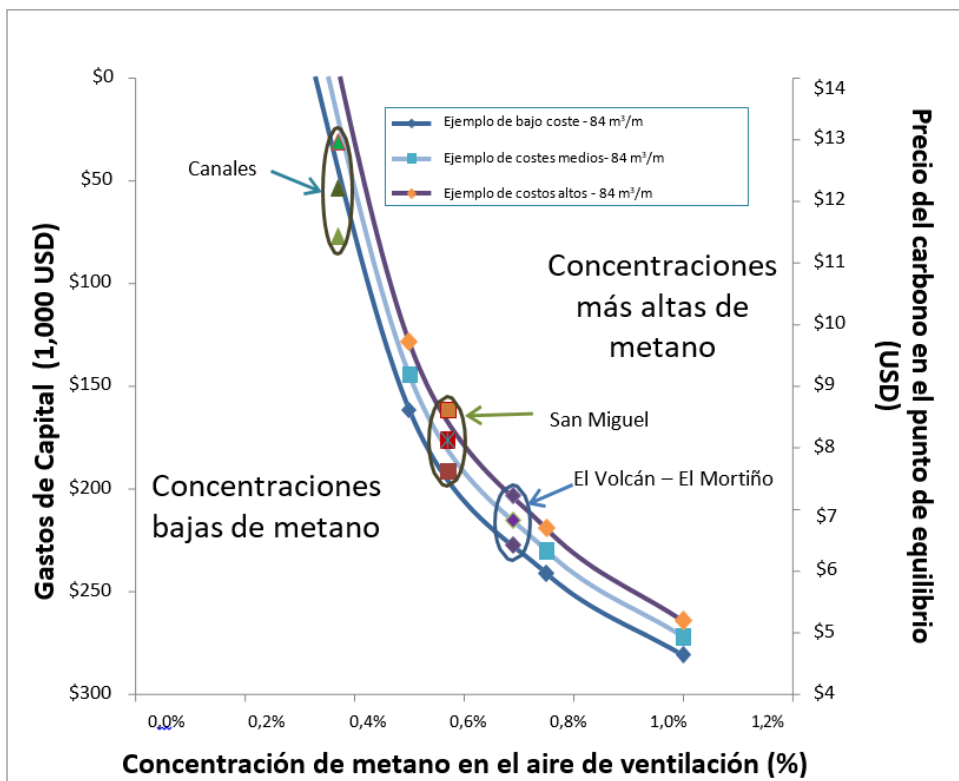
el punto de equilibrio. La Figura 59 muestra el precio del carbono (expresado en USD por tonelada de CO₂e) para cada uno de los escenarios evaluados para un proyecto de diez años de rentabilidad (donde la Tasa interna de retorno TIR sería igual a la tasa de descuento, que en estos análisis es del 10%).

Estos ejercicios de simulación nos ayudan a entender mejor los números de un proyecto de oxidación VAM, sin embargo, los valores base son tomados de promedios basados en la experiencia adquirida en proyectos VAM implementados en los Estados Unidos.

A continuación se desarrolla una simulación de flujo de caja con valores reales basados de las cotizaciones de ANGUIL y GCES combinados con valores estimados por el contratista basado en el conocimiento del mercado nacional.

Sin embargo es necesario antes de iniciar el proyecto piloto, realizar un estudio de factibilidad ya que no se cuenta con información local por qué no se ha hecho ningún proyecto de esta índole en el país.

Figura 59. Precio de carbono requerido por un proyecto de 10 años para alcanzar punto de equilibrio.



Fuente. Asesor internacional Raven Ridge Resources

5.4.2. Flujo de Caja Financiero (Datos Colombia)

Se realizó un ejercicio económico, utilizando la información de las dos propuestas planteadas en este proyecto:

- ✓ Propuesta 1: Minas San Miguel (UNIMINAS)-Canales e inclinado Diamante 7 (PROMINCARG).
- ✓ Propuesta 2: Minas Volcán-Mortiño (PROMINCARG).

Para cada uno de estos proyectos se generaron dos escenarios basados en las cotizaciones realizadas por las empresas ANGUIL y GCES, sumada a información estimada por el contratista

La duración del proyecto se fijó arbitrariamente para diez años de operación. Además, se hacen algunas suposiciones que no se tienen en cuenta en el análisis, incluyendo.

- ✓ El sistema de oxidación VAM se encuentra ubicado cerca del evasse o salida del VAM, y será reubicado cuando el evasse se reubique a un nuevo frente de carbón.
- ✓ El sistema de oxidación VAM es usado únicamente para créditos de carbono y no para la recuperación de calor residual.
- ✓ La eficiencia de destrucción de los sistemas de oxidación VAM para el propósito de créditos de carbono es del 95%.
- ✓ El costo de Capital incluye: un mínimo de ductos de ventilación, ventiladores de los ductos de ventilación y el sistema de oxidación VAM.
- ✓ Los costos anuales incluyen, la operación y mantenimiento del sistema de oxidación VAM, electricidad para los ventiladores de los ductos, y una reubicación periódica del sistema de oxidación VAM.
- ✓ Los ventiladores funcionan las 24 horas del día, los siete días de la semana durante 8.000 horas al año, con mínimos contratiempos.
- ✓ Si hay costos en el modelo asociados con la purificación del aire de ventilación.
- ✓ Si hay costos en el modelo asociados con hacer las modificaciones necesarias a los sistemas de ventilación existentes para acomodar los sistemas RTO.
- ✓ Tarifas de importación e impuestos de nacionalización y gasto adicionales SI están incluidos.
- ✓ Si están incluidos gastos operacionales locales.
- ✓ Se tomaron intereses de capital del 4%.
- ✓ La tasa de inflación del 4%

- ✓ Costos de amortización del 10% al año del total del préstamo.

Las Figura 60 y Figura 61, representan el punto de equilibrio para las minas volcán-Mortiño usando las dos tecnologías disponibles, ANGUIL y GCES. Como se puede ver claramente, en ninguno de los dos casos se alcanza el punto de equilibrio. El proyecto no es viable con un precio de bono de CO₂ equivalente de USD \$ 14.75, sin embargo, haciendo la simulación se logra alcanzar punto de equilibrio incrementando el precio del bono de carbono a USD \$ 19.50 con la tecnología de ANGUIL (Figura 62), la cual es la de menor costo de implementación, sin embargo, este precio no es viable para este tipo de proyectos.

Las Figura 63 y Figura 64, representan el punto de equilibrio de las minas San Miguel-Canales-Diamante 7, teniendo en cuenta los costos de implementación de las dos tecnologías posibles. En este caso, ya que la producción de toneladas de CO₂ Equivalente es mayor, en los dos casos se alcanzaría punto de equilibrio cerca al año 11, momento en el cual se termina de cancelar los prestamos adquiridos para la implementación del proyecto, asumiendo un bono de carbono de USD \$ 14.75.

Figura 60. Punto de Equilibrio Minas Volcán – Mortiño con Tecnología GCES.

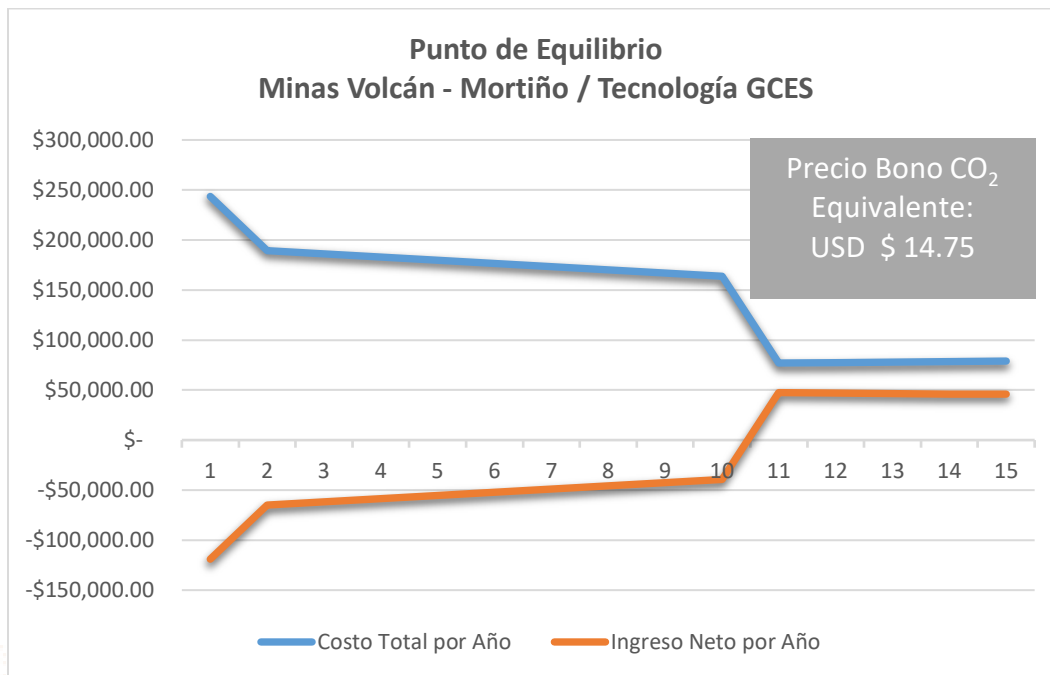


Figura 61. Punto de Equilibrio Minas Volcán – Mortiño con Tecnología ANGUIL.

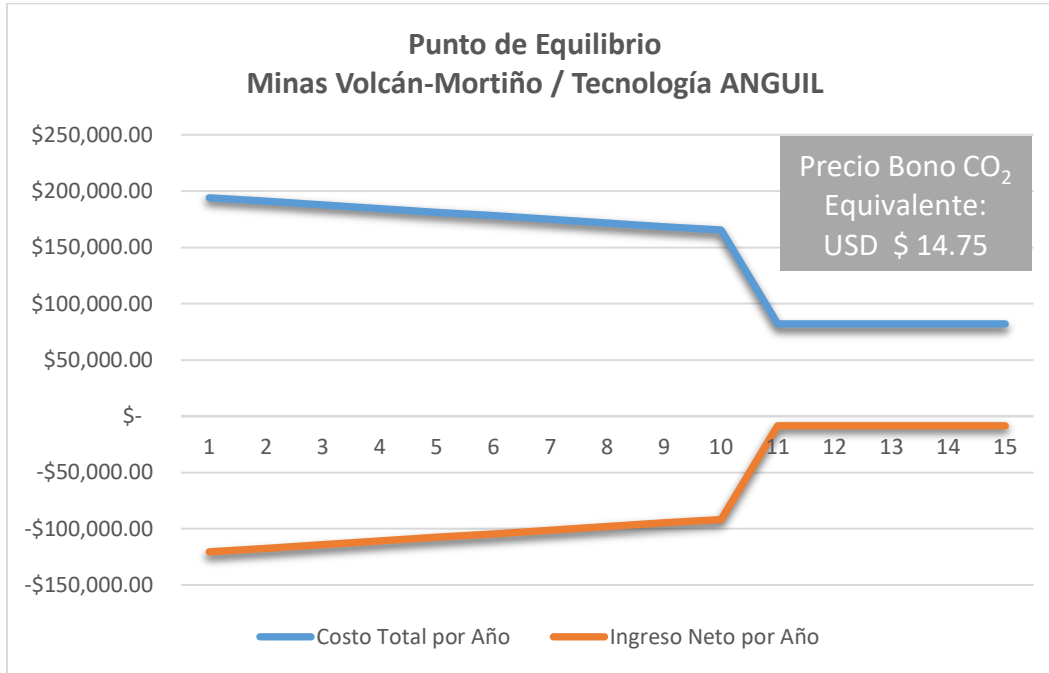


Figura 62. Punto de Equilibrio Minas Volcán – Mortiño con Tecnología GCES

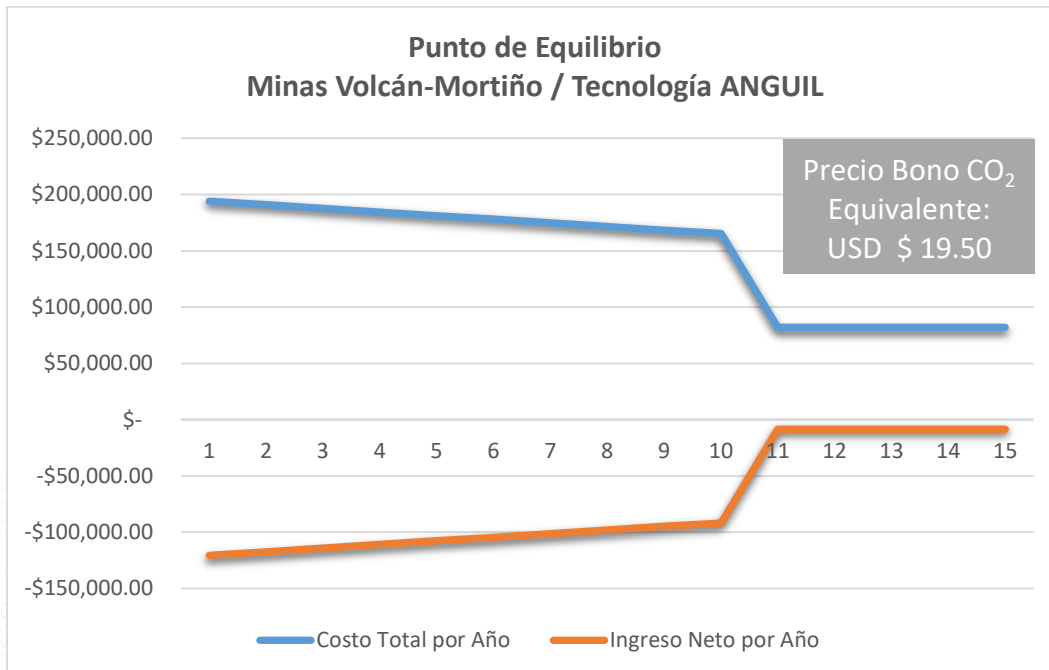


Figura 63. Punto de Equilibrio Minas San Miguel - Canales - Diamante 7 con Tecnología GCES.

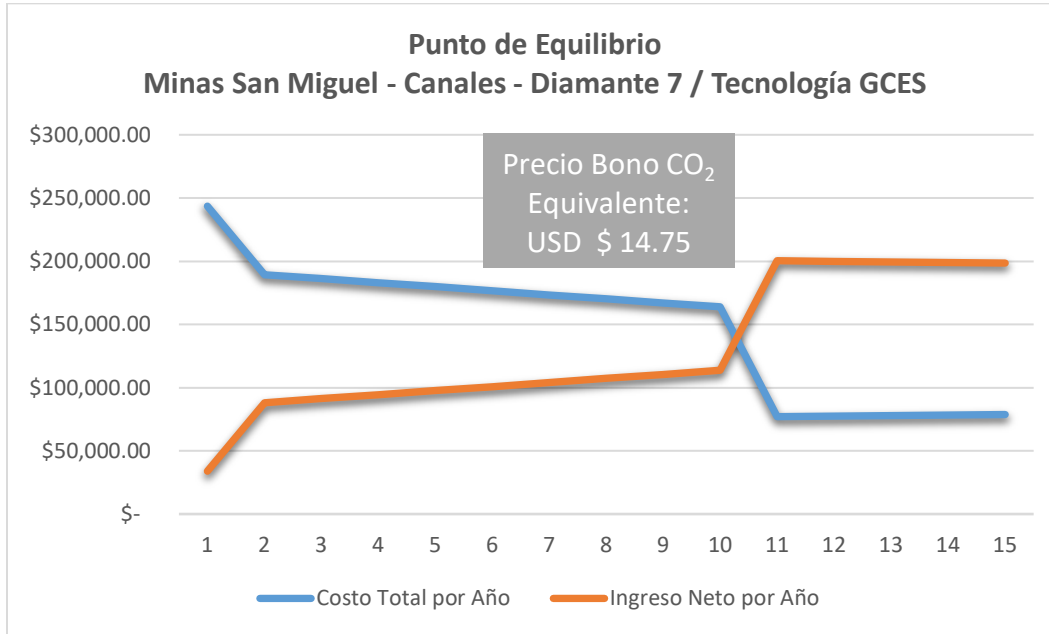
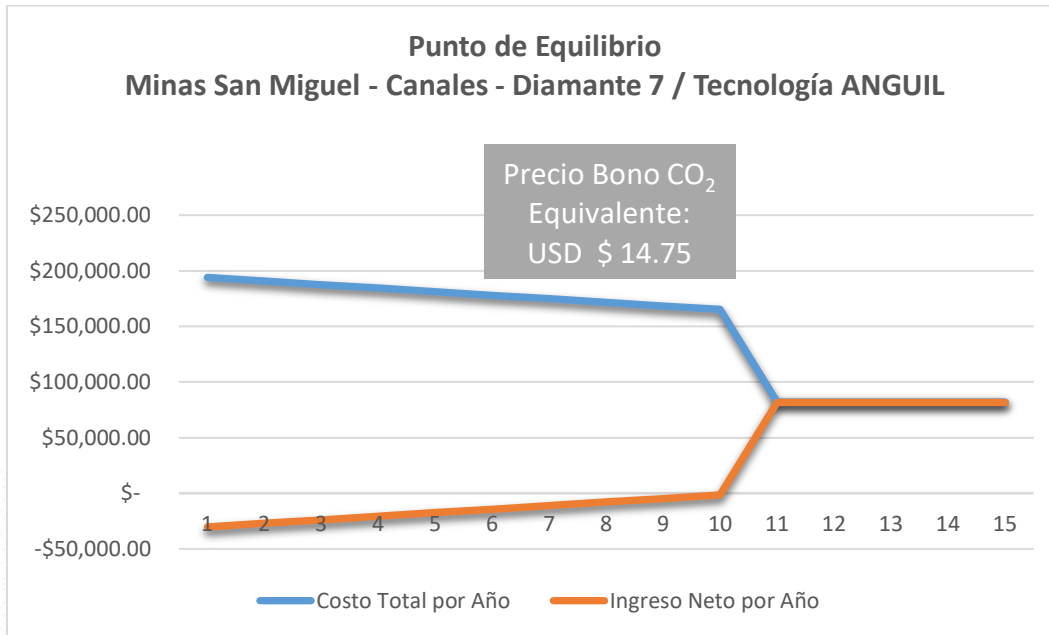
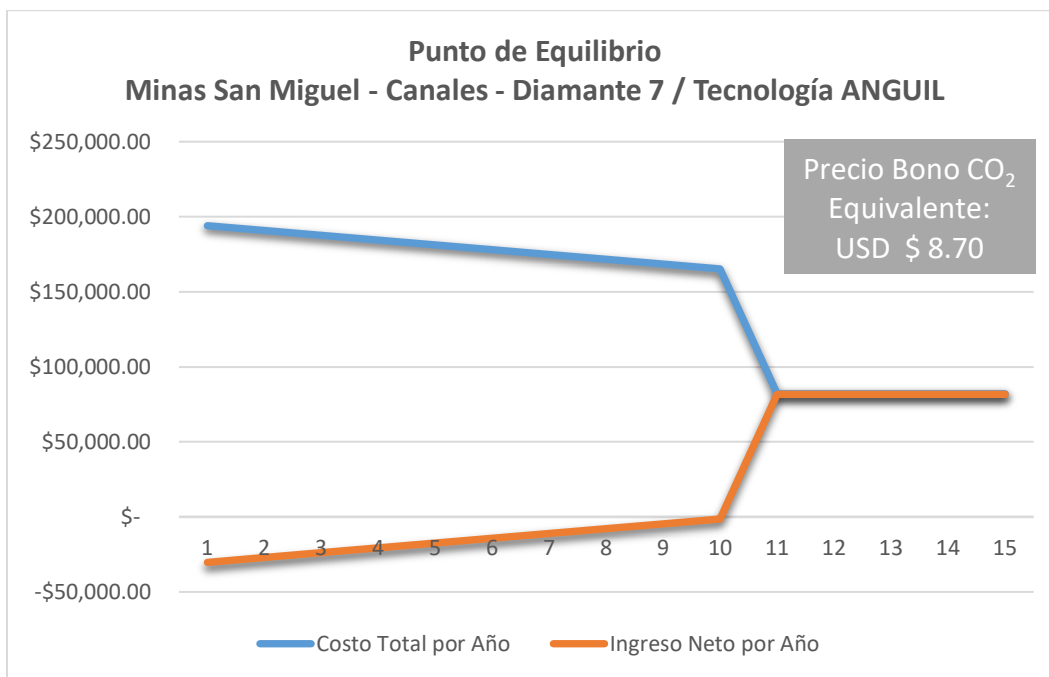


Figura 64. Punto de Equilibrio Minas San Miguel - Canales - Diamante 7 con Tecnología ANGUIL



Sin embargo, realizando una simulación variando el precio del bono de Carbono equivalente, se puede evidenciar que con un mínimo de USD \$ 8.70, el proyecto San Miguel-Canales- Diamante 7 mantendría el alcance del punto de equilibrio en el onceavo año, pero generaría una disminución en las ganancias adicionales sin sacrificar la viabilidad y continuidad del proyecto ya que se mantendría en punto de equilibrio constante (Figura 65). Se debe resaltar que este mínimo es viable con la tecnología de Anguil debido al menor costo de implementación.

Figura 65. Punto de Equilibrio Minas San Miguel - Canales - Diamante 7 con Tecnología ANGUIL y precio de bono de carbono a USD \$ 8.70.



Por lo tanto, se recomienda crear un mercado de bonos de Carbono equivalente en Colombia, igual o similar al de California, con tarifas similares. Este valor permitiría que proyectos con una producción de CO2 equivalente cercana a las minas San Miguel-Canales-Diamante 7, puedan considerar en un futuro la implementación de las tecnologías de oxidación de Metano en el país. Teniendo en cuenta que, desde el punto de vista económico, tecnologías como las ofrecidas por Anguil permiten viabilizar este tipo de proyectos debido a sus menores costos de implementación.

La Figura 66 presenta el escenario de las dos propuestas de proyecto VAM con los costos de la empresa ANGUIL (MODEL 50 REGENERATIVE THERMAL OXIDIZER), cuyo modelo aplica para las condiciones Colombianas. En él se puede observar cómo el Proyecto de San Miguel – Canales tiene un flujo de caja positivo

desde el primer año, mientras que el proyecto de Volcán – Mortiño comienza a tener un flujo de caja positivo desde el año 11, cuando se acaba de pagar el préstamo. Comparativamente con la simulación en el modelo de la EPA, se observa que los costos nacionales estimados, en este ejercicio, son mucho más altos debido a que utilizan datos reales de los equipos y datos más reales de los costos de nuestro país.

La Figura 67 presenta el escenario de las dos propuestas de proyecto VAM con los costos de la empresa CGES (Model 200-95-VAM-CH4-RTO), cuyo modelo aplica para las condiciones Colombianas. En él se puede observar cómo el Proyecto de San Miguel – Canales tiene un flujo de caja positivo desde el segundo año, mientras que el proyecto de Volcán – Mortiño comienza a tener un flujo de caja positivo desde el año 11, cuando se acaba de pagar el préstamo.

Utilizando el modelo plantilla de Excel y bajando los valores de CO2 equivalente hasta que el valor presente neto VPN sean casi cero (positivos), podemos predecir que bajo este escenario de valores un proyecto por encima de 15.800 Ton de CO2 equivalente por año para la tecnología de ANGUIL y 18.000 Ton de CO2 para la propuesta de GCES, son proyectos financieramente posibles. Los datos de la plantilla Excel se pueden consultar en el anexo 2.

Figura 66. Flujo de caja con mercado de Colombia en cotización de ANGUIL

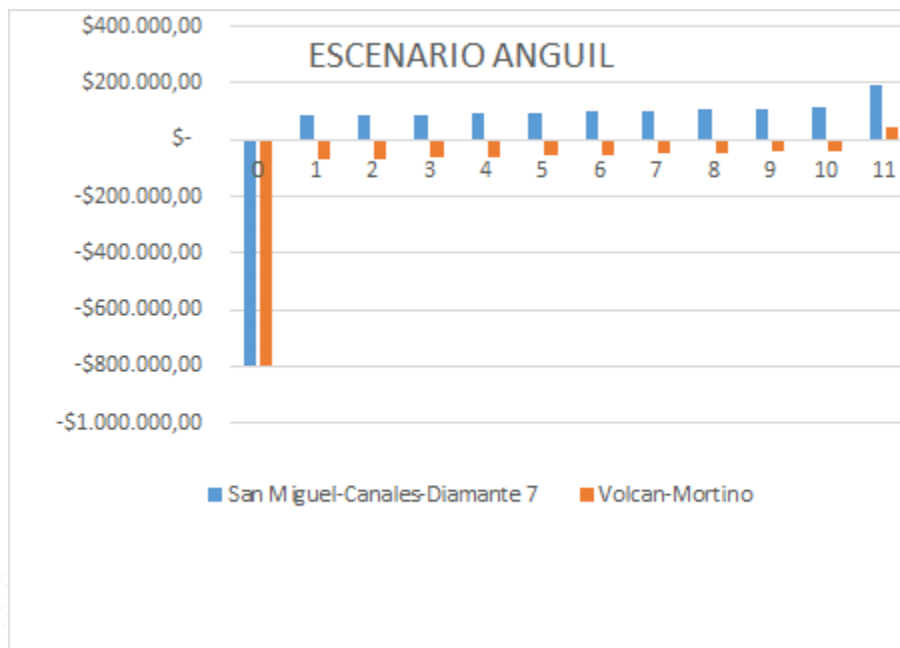


Figura 67. Flujo de caja con mercado de Colombia en cotización de GCES

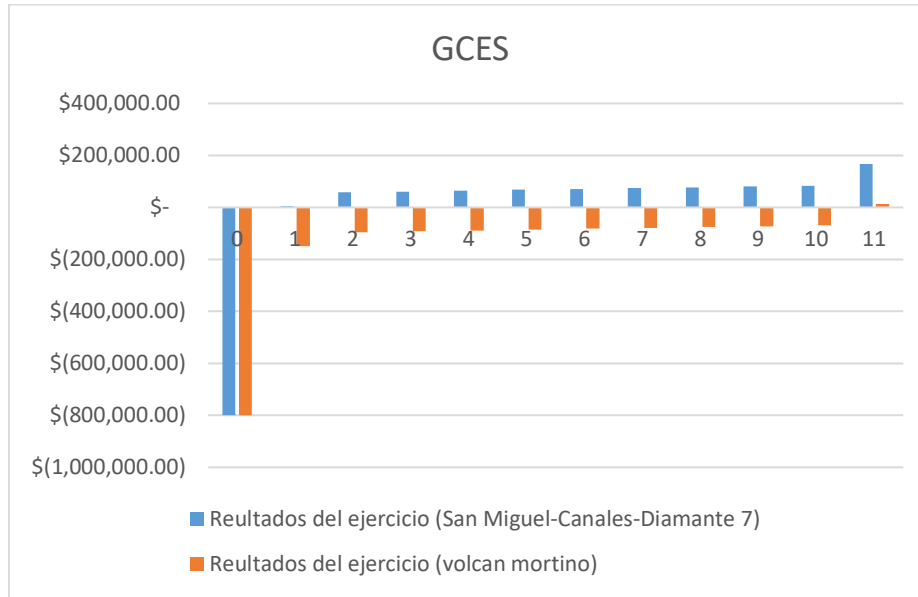


Tabla 66. Comparación costos ANGUIL - GCES

COSTOS GENERALES	ANGUIL	GCES
COSTOS DE EQUIPO E INSTALACION		
Costo del equipo RTO	\$ 295.000,00	\$ 648.850,00
Evasse	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Tuberías	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Trasporte internacional	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Transporte local	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Nacionalización	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Almacenaje	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Instalación equipo (internacional)	\$ 55.000,00	\$ 55.000,00
Adecuación sistema de ventilación	\$ 45.000,00	\$ 45.000,00
Adecuación del terreno	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Infraestructura de apoyo y servicios	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
Construcción plataforma	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
Estudio de factibilidad	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
costos de puesta en marcha	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
costos de capacitación	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
costo de instalación del equipo (local)	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00

costos de asesoría legal	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
costos de licencia ambiental	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
costos de modificación del PTO	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Kit de repuestos	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00

6. GUIA METODOLÓGICA

6.1. INTRODUCCIÓN

Esta guía pretende servir como una referencia sencilla para el público colombiano interesados en aprovechar o quemar el gas metano de los ductos de ventilación de las minas subterráneas de carbón, se citan además los requerimientos técnicos, financieros y los riesgos asociados a la implementación de un proyecto VAM.

Esta guía no pretende llevar a cabo un análisis económico detallado ni tampoco permite llevar a cabo un diseño detallado de un proyecto de VAM. Debe quedar muy claro que para realizar un proyecto VAM, lo primero que se debe realizar es una evaluación detallada de factibilidad, y esta debe ser realizada por un profesional con amplia experiencia en recuperación y uso de gas metano de minas de carbón. Esta evaluación de factibilidad o p0refactibilidad debe hacerse antes de generar cualquier acuerdo comercial de compra de equipos, antes de realizar diseños de construcción o modificaciones de minas o sistemas de ventilación dirigidas a proyectos VAM

El gas metano: El gas metano es un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el dióxido de carbono. Las emisiones mundiales de metano de las minas de carbón totalizaron un equivalente de casi 600 millones de toneladas métricas de CO₂ (MtCO₂e) en el 2010 y se proyecta que las emisiones antropogénicas mundiales de metano aumenten cerca de un 9 por ciento por encima de los niveles previstos para el 2020 hasta alcanzar 10,220 MMTCO₂ E para 2030⁹.

El gas metano de los ductos de ventilación de las minas subterráneas de carbón puede ser quemado o aprovechado para autogeneración mediante maquinas, turbinas y otras tecnologías con lo cual se puede obtener múltiples beneficios económicos, ambientales y de seguridad para los mineros.

Colombia es un país que por su ubicación geográfica es bastante vulnerable a los efectos que genera el cambio climático según estudios realizados por INVEMAR y el IDEAM las zonas costeras e insulares colombianas son altamente vulnerables a los impactos del cambio climático por amenaza de inundaciones, para el 2030, se estima que se vea afectado el 2% del total de la población y un valor de capital del orden del 2,2% del PIB además afectación de un 50% del territorio nacional por la

⁹ https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_spa.pdf

modificación en el funcionamiento del régimen hidrológico, con consecuencias sobre las actividades económicas, el abastecimiento de la población y los niveles de amenaza natural.

6.1.1. Política Colombiana De Cambio Climático

Historialmente Colombia se destaca por su liderazgo en las negociaciones de cambio climático y ha venido realizando esfuerzos para plantear mecanismos y estrategias que contribuyan para cumplir la meta mundial de evitar el aumento de temperatura promedio global por encima de los 2°C, una de las estrategias que Colombia planteo tiene el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del país 20% con relación a las emisiones proyectadas a 2030.

Dentro de la política nacional de cambio climático se plantearon líneas estratégicas territoriales, sectoriales e instrumentales, dentro de las líneas de desarrollo Minero-Energético bajo en carbono y resiliente al clima se proponen varias líneas de acción dentro de las cuales destacamos las siguientes¹⁰:

- a) Integrar en las políticas, instrumentos y regulación sobre expansión de la oferta energética eléctrica del país, los objetivos de adaptación ante los eventos climáticos, así como medidas de desarrollo bajo en carbono, minimizando aquellas que implican sacrificios entre objetivos.
- b) Evaluar la utilización de biocombustibles que aseguren una baja huella de carbono a lo largo de su ciclo de vida y prevengan potenciales impactos a los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y a la biodiversidad.
- c) Promover mecanismos eficientes, incluidos instrumentos económicos, para la gestión de la demanda baja en carbono en los diferentes sectores.
- d) Incentivar la adecuada diversificación de la canasta energética, mediante instrumentos y tecnologías que reconozcan beneficios sobre la mitigación de GEI así como co-beneficios en la calidad del aire, resiliencia climática, acceso y seguridad energética, y, adicionalmente, generar estrategias de coordinación interinstitucional del Gobierno nacional que permitan la promoción y el desarrollo de proyectos relacionados con fuentes no convencionales de energía renovable.
- e) Fomentar el aprovechamiento de fuentes de energía renovables complementarias a las no renovables con el fin de asegurar el suministro

¹⁰ <http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-2/politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc#politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc>

confiable de energía eléctrica en zonas no interconectadas (ZNI), teniendo en consideración los principios de eficiencia y confiabilidad del sistema.

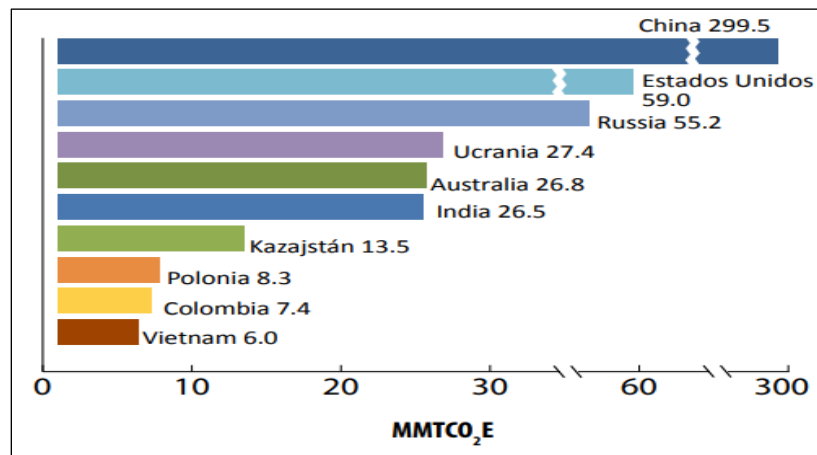
- f) Propender y promover la adecuada gestión de las emisiones fugitivas que se presentan durante las actividades en los sectores de minas y de hidrocarburos.

6.1.2. La Importancia Del Aprovechamiento O Quema De Gas Metano

En el año 2010, se estimó que las emisiones mundiales de metano producidas por las minas de carbón fueron aproximadamente de 584 MMTCO₂E, y responsables del 8 por ciento del total de emisiones de metano a nivel mundial. La Figura 68 presenta las emisiones de metano del sector minero en países de la GMI (Global Methane International) seleccionados.

Los países representados en la siguiente Figura 68 tuvieron las emisiones de metano producido por minas de carbón más elevadas del 2010. Las emisiones totales de metano producido por minas de carbón en 2010 fue de 584 MMTCO₂ E.

Figura 68. Emisiones Mundiales Estimadas de Metano a Partir de las Minas de Carbón en los Diez Principales Países de la GMI, 2010.*



Fuente: https://www.globalmethane.org/documents/coal_fs_spa.pdf

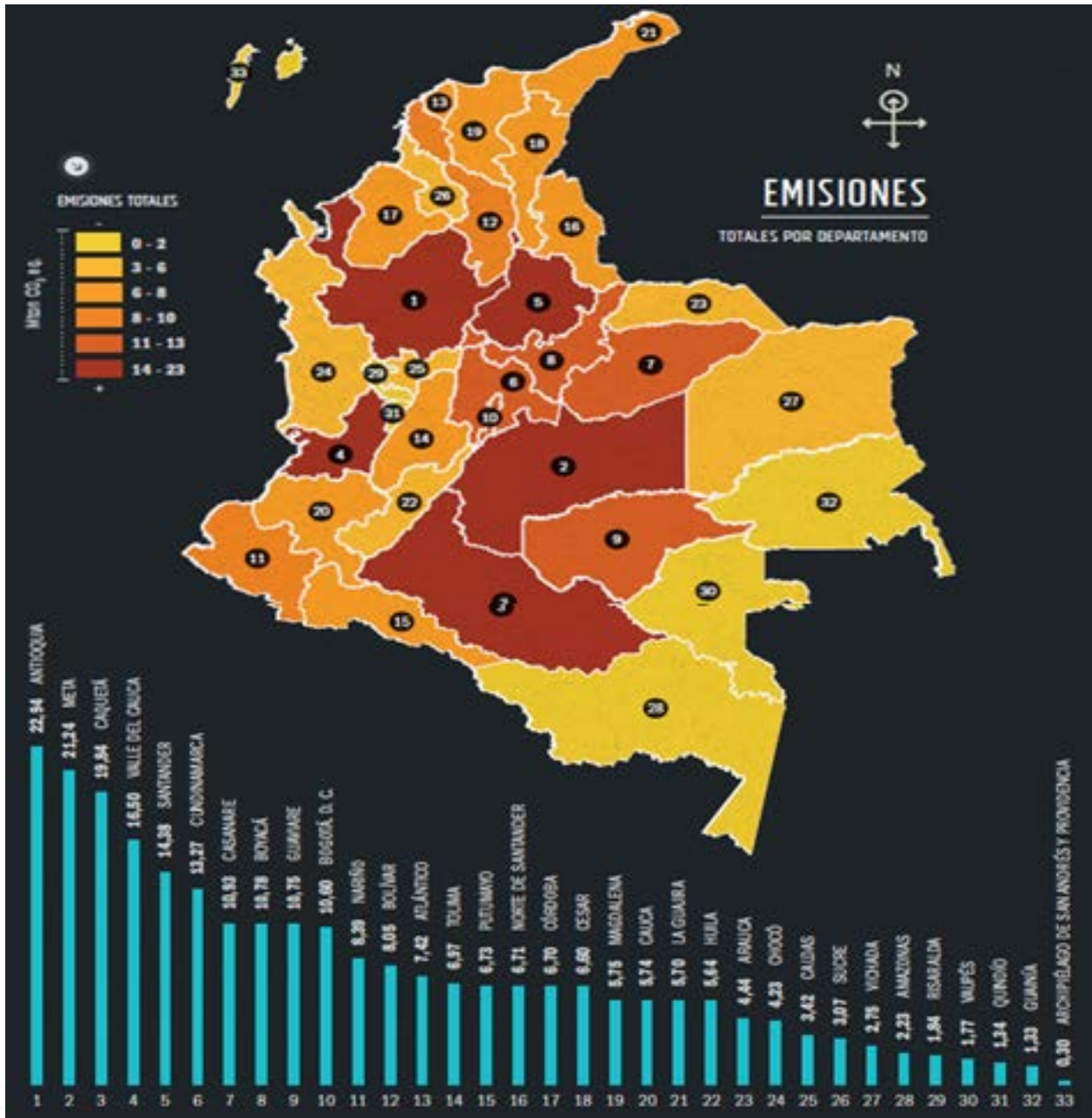
El inventario nacional de GEI publicado en el año 2016 y realizado por el IDEAM Y PENUD, determinas que en 20 años las emisiones del país aumentaron en un 15% (36 millones de toneladas de CO₂ equivalentes), pasando de 245 Mton en el año 90 a 281 Mton en el año 2010 además se establece que en el año 2012 Colombia emitió 258 millones de toneladas (Mton)

Dentro de los departamentos que más emiten GEI están: 1) Antioquia con 22.9 Mton de CO₂ equivalentes, 2) Meta 21.2 Mton, 3) Caquetá 19.8 Mton, 4) Valle del Cauca

16.5 Mton, 5) Santander 14.3 Mton, aportando en conjunto el 37% de las emisiones nacionales (Figura 69).

En el 2012 los siguientes sectores que más generan emisiones en el país: 1) Sector forestal 36%, 2) Sector agropecuario 26%, 3) Transporte 11%, 4) Industrias manufacturera 11%,5) Minas y energía 10%, de este porcentaje el 1,1% hace referencia a las emisiones fugitivas de CH₄ y CO₂ en minería de carbón subterráneas.

Figura 69. Emisiones GEI totales por departamento



Fuente: Inventario Nacional GEI, IDEAM-PNUD

Los sectores que más aumentaron emisiones para la serie 1990-2012 fueron:

- Industria manufacturera 94% pasando de 14 a 28 Mton,
- Minas y energía 85% pasando de 14 a 25 Mton
- Transporte 53% pasando de 18 a 28 Mton.

Adicionalmente según las emisiones reportadas en este estudio Colombia ocupa el puesto 40 entre los 184 países que monitorea el Instituto Mundial de Recursos del Banco Mundial (WRI) en emisiones mundiales de GEI y el 5 lugar en América Latina y pasó de emitir el 0,37% de las emisiones mundiales a emitir el 0,42% en los últimos años.

6.1.3. Seguridad Minera

La Agencia Nacional de Minería a través de su Vicepresidencia de Seguimiento, Control y Seguridad Minera es la entidad encargada de promover y coordinar toda la actividad del país en temas de seguridad minera.

La información que dispone la Agencia Nacional de Minería en la página web respecto a la accidentalidad ocasionada por presencia de metano al interior de las labores mineras subterráneas no se encuentra explícitamente identificada, su estadística está mezclada dentro de la clasificación de tipos de accidentes mineros denominada “Accidente minero por explosión”, la cual se define como “ *Evento o suceso repentino que ocurre por el uso de explosivos, polvo de carbón y/o por la concentración de gases explosivos*”.

En esta clasificación, las causas de emergencias ocurridas por explosión durante los años 2005 a 2017 (datos hasta el 23 de noviembre de 2017) ocupan el 13% del total de emergencias ocurridas, con 139 emergencias mineras atendidas. Dentro de las causas de fatalidades en emergencias mineras ocurridas en el mismo periodo, las explosiones constituyeron el 26% del total de las causas, con 331 fatalidades.

Las causas de los accidentes por deflagración y explosión de metano están relacionadas principalmente con deficientes condiciones de ventilación al interior de las labores mineras, con el empleo de equipos y herramientas no protegidos, con la falta de capacitación a los trabajadores y de previsión por parte de los Empleadores, Entre Otras.

6.1.3.1. Seguridad Minera y Aprovechamiento de VAM

Según un estudio realizado por La Universidad de Newcastle, Australia una de las brechas para la elaboración de proyectos VAM es que no existe una norma de

seguridad consistente, aplicable y aceptada para el diseño, construcción y operación de esta tecnología.¹¹

El decreto 1886 de 2015 abre la posibilidad para que el titular minero realice el beneficio del gas metano presente en el yacimiento ubicado en el área contratada. Es una excelente oportunidad que deberá ser precedida de un estudio que determine la potencialidad real del metano para determinar la viabilidad de su extracción en proyectos que sean seguros, ambientalmente viables y sobre todo que tengan rendimiento económico, en una palabra que sean sustentables.

Los sistemas VAM no pueden ser ajenos al tema de seguridad en las minas por lo tanto el desafío es que los diseñadores de este tipo de tecnología implementen sistemas que no aumente el riesgo para los mineros que laboran en la mina, dentro de los principales riesgos asociados a los sistemas VAM están:

- Disrupción en el flujo de aire de la mina
- Eventos de retroceso del CH₄ lo que puede ocasionar incendios y explosiones.
- Aumento de polvo de carbón lo que puede conducir a:
 - ✓ Flujo de aire reducido (obstrucción)
 - ✓ Formación de zonas o puntos calientes, generando incendios o explosiones.
 - ✓ Incrustación, corrosión y abrasión de los equipos.

El Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en las minas de carbón subterráneas publicado por la organización internacional del trabajo (2006) cuyo objetivo principal es servir de base para la adopción de medidas preventivas y de protección, frente al tema de captación de metano propone lo siguiente:

- Donde se utilicen sistemas de captación del metano, ya sea en la superficie o bajo tierra, el plano de ventilación de la mina, debería incluir un croquis detallado de cada sistema y las consiguientes precauciones de seguridad.
- Si los métodos de captación del metano, ya sea en superficie o bajo tierra, en zonas de actividad minera o donde la hubo, inciden en la ventilación de la mina, en el plano de ventilación también se deberían detallar esos métodos y describir los métodos de protección y controles concretos con que se cuenta para prevenir efectos adversos en la ventilación de la mina.

¹¹ https://www.globalmethane.org/documents/events_coal_120904_moghtaderi.pdf

- Ningún aspirador debería instalarse en un sistema de captación de metano a menos que:
 - ✓ sea de un tipo aprobado por la autoridad competente;
 - ✓ esté fabricado e instalado de manera que cuando no esté funcionando, el metano no pueda fluir por el en sentido inverso;
 - ✓ el aspirador y el sistema estén dispuestos de manera que, cuando el primero no esté funcionando, el metano no pueda fluir por el en sentido inverso.
 - ✓ el aspirador esté conectado a tierra de manera que garantice una descarga eléctrica inmediata e inocua.
- Para albergar los aspiradores de superficie deberían utilizarse solo edificios convenientemente construidos al efecto y que no deberían usarse para ningún otro fin.
- Todos los aparatos eléctricos utilizados con un aspirador deberían estar certificados como intrínsecamente seguros o a prueba de fuego.
- Salvo si el calorímetro empleado para detectar el metano es de llama desnuda, en el alojamiento del aspirador no debería utilizarse ninguna lámpara ni alumbrado, a menos que sea de un tipo autorizado. Además, todo calorímetro de llama desnuda debería instalarse en un compartimiento con ventilación propia y distinta de aquella de la sala del calorímetro.
- Solo una persona autorizada que se haya cerciorado previamente de que no es peligroso hacerlo debería abrir el calorímetro
- Si el metano se descarga en la atmosfera en la superficie, en los puntos de descarga deberían instalarse dispositivos apropiados que impidan que las llamas penetren en el sistema.
- La legislación nacional debería fijar el porcentaje mínimo de metano, por el volumen admisible para alimentar una instalación de aprovechamiento.
- Si el metano se descarga de un sistema interior de la mina, el punto de descarga debería estar rodeado de un cierre de dimensiones suficientes para que el porcentaje de metano en la atmosfera fuera de ese cierre no sobrepasara la cifra estipulada en la legislación nacional y que no debería ser superior a 2 por ciento.
- De ningún sistema debería descargarse el metano en una vía de entrada de ventilación.
- Deberían tomarse las disposiciones del caso para que, en aquellos tajos abandonados donde puedan producirse acumulaciones de metano, se retengan o eliminen las acumulaciones peligrosas.
- El director de toda mina donde se haya instalado un sistema de captación de metano debería tomar disposiciones para capacitar a un número suficiente de personas competentes que se encarguen de ese sistema.

6.1.4. Tecnologías VAM

La baja concentración de metano en el aire de ventilación de la minas en Colombia presenta un desafío para la utilización y mitigación y requiere de una combinación con el drenaje de la mina (CMM) o tratamiento en su estado diluido o concentración a niveles que pueden usarse en combustible convencional de metano. La tecnología efectiva para aumentar la concentración de metano no está actualmente disponible, pero se está investigando, la mayoría del trabajo se ha centrado en la oxidación de metano de muy baja concentración; estos procesos pueden clasificarse como oxidación térmica u oxidación catalítica, en función de los mecanismos cinéticos de la combustión¹².

La Tabla 67 resume las principales tecnologías de mitigación y utilización del metano del aire de ventilación, que se han explorado en el pasado, en términos de mecanismos fundamentales, principios técnicos y aplicabilidad. Las tecnologías de utilización de aire de ventilación y metano generalmente se dividen en dos categorías básicas: usos auxiliares y usos principales, como se muestra en la Tabla 67.

Tabla 67. Desarrollo actual de tecnologías para ventilación aire metano

Tecnología	Principio	Estado de la aplicación
USOS AUXILIARES		
OXIDACIÓN TÉRMICA		
Aire de combustión para la central eléctrica convencional p.f.	Combustión en p.f. horno de caldera de la central eléctrica	Utilización de la mitigación: demostrado en una unidad a escala piloto, y considerado para una demostración a escala completa
Aire de combustión para turbina de gas	Combustión en una turbina de gas convencional cámara de combustión	Utilización de la mitigación: estudiado
Aire de combustión para el motor de gas	Combustión en el combustor del motor de gas	Mitigación Utilización - demostrado
PRINCIPALES USOS		

¹² *Ibíd.*, p. 15.

Reactor de flujo térmico en reversa (TFRR)	reactor de reverso de flujo con cama regenerativa	mitigación -demostrado utilización, no demostrado aún en un sitio de mina
Turbina de gas recuperativa	turbina de gas con un combustor recuperativo y un recuperador	mitigación - demostrado Utilización: demostrado en una unidad a escala piloto, y necesita modificaciones adicionales
OXIDACIÓN CATALÍTICA		
reactor de flujo catalítico inverso (CFRR)	reactor de flujo inverso con cama regenerativa	mitigación - demostrado utilización - no demostrado aún en un sitio de mina
Cámara de combustión monolítica catalítica (CMR)	reactor monolito con un recuperador	mitigación - demostrado utilización, no demostrado aún en un sitio de mina
turbina de gas de combustión catalítica pobre	turbina de gas con un combustor catalítico y un recuperador	mitigación - demostrado Utilización: se está desarrollando en una unidad a escala de laboratorio
Procesos Enriquecedores		
multi-etapa concentrador de lecho fluidizado / móvil	adsorción (usando carbón activado) y un desorbente	mitigación y utilización: el desarrollo se detuvo en 2004
Centrífugas de gas	Centrifugo	la mitigación y la utilización - se proponen como un concepto

Principales usos

Las principales tecnologías de uso se definen como aquellas que están destinadas a utilizar el VAM como la principal fuente de metano en el proceso. Cabe señalar que algunas tecnologías en la Tabla 67 requieren combustible suplementario de alta calidad cuando se recupera energía para generar energía si la concentración de metano en el VAM es demasiado baja.

6.2. GUIA PRÁCTICA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN PROYECTO VAM EN MINAS SUBTERRNEAS DE CARBON EN COLOMBIA

6.2.1. Diagnostico Minero

El objetivo principal del diagnóstico minero es recopilar la información que refleje la situación actual de las minas de carbón con el fin de evaluar el contexto y proceder a realizar acciones dirigidas para la implementación de un proyecto VAM en Colombia. A continuación se hace una descripción de los aspectos a tener en cuenta para la elaboración del diagnóstico minero.

6.2.1.1. Características Fisiográficas

Se debe realizar una completa descripción de los principales aspectos fisiográficos con la finalidad de evaluar el sitio ideal para la ubicación del equipo VAM buscando escoger una topografía adecuada con suficiente superficie para la instalación de las unidades de oxidación buscando así minimizar costos referentes a la preparación del área, así mismo se debe tener o preparar una infraestructura vial adecuada para el tránsito de camiones dentro y fuera del sitio.

6.2.1.2. Localización

Se refiere a la descripción de la localización geográfica y político-administrativa (departamental, municipal, corregimientos etc.) que permita dimensionar y ubicar el proyecto en el entorno geográfico, de igual manera se recomienda localizar el proyecto en un mapa georreferenciado en coordenadas planas a una escala detallada que permita una adecuada lectura de la información donde se incluyan aspectos como curvas de nivel, hidrografía, asentamientos humanos etc.

6.2.1.3. Topografía – relieve

Es recomendable disponer de la topografía del área donde se pretende implementar el proyecto VAM se recomienda realizarla a una escala preferiblemente 1:2000, donde se plasmen las curvas de nivel como mínimo cada 20 m o cada 10 o 5 de acuerdo con la extensión y características morfológicas del área, se puede tener como referencia las normas y procedimientos para la elaboración de planos y mapas que se encuentra en las Guías Minero Ambientales expedidas por el Ministerio de Minas y Energía.

Los levantamientos topográficos deben referenciar la infraestructura superficial (construcciones, carreteras, líneas eléctricas etc.), los accidentes geográficos principales (quebradas, cerros etc.), labores mineras existentes en el área (bocaminas, excavaciones, botaderos de estéril, patios de acopio etc.)

6.2.1.4. Hidrología

Tener un estudio hidrológico evaluará el comportamiento de la precipitación anual, la extensión de la cuenca hidrográfica, los volúmenes de agua que se manejarían por efecto de la escorrentía superficial, las corrientes naturales del área y sus posibles desviaciones y las alternativas de control de inundación.

Este aspecto es bastante importante estudiarlo ya que nos deberá proveer de información necesaria para el diseño de obras y sistemas para el manejo de las aguas que permitan una eficiente operación minera, además en el caso de necesitar agua para la implementación del proyecto VAM se tendrá información sobre los volúmenes y ubicación de este recurso.

6.2.1.5. Hidrogeología

El estudio hidrogeológico debe permitir el conocimiento de las condiciones naturales del agua subterránea, su relación con las aguas de infiltración y corrientes superficiales, tanto en verano como en invierno, los parámetros y constantes hidráulicas del macizo rocoso, el nivel freático, la localización y característica de los acuíferos presentes en el área y los efectos que produciría el agua subterránea sobre la explotación minera, de manera que sirva como punto de referencia para el posterior monitoreo de este recurso en términos de cantidad y calidad previniendo los riesgos de inundación ya que para el caso que nos compete el agua actuaría como “tapón” impidiendo la salida de los gases lo que traería riesgos para la operación de los equipos de oxidación de metano.

6.2.2. Geología

Los aspectos geológicos hacen parte de la fase de planeación (exploración) para la implementación de un proyecto de aprovechamiento u oxidación de gas metano de los ductos de ventilación, estos datos son los que permitirán definir por un lado la vida útil del proyecto minero así como la viabilidad de implementación del proyecto VAM.

Ahora remitiéndonos al decreto 1886 de 2015 en el capítulo II disposiciones especiales para minas grisutuosas, el artículo 62 indica que los titulares mineros deben hacer un estudio geológico indicando las concentraciones de gas metano en los mantos de carbón a explotar, así como en los mantos superior e inferior a explotar, permitiendo a los explotadores asociarse entre sí para la elaboración de este estudio.

Para iniciar con esta fase del estudio, actualmente se encuentra disponible información secundaria como en los Planes de Trabajos y Obras (PTO) y Planes de Manejo Ambiental de las áreas, adicionalmente la entidades como Agencia Nacional

de Hidrocarburos- ANH; Servicio Geológico Colombiano-SGC; Empresa Colombiana de Petróleos -ECOPETROL; Agencia Nacional de Minería- ANM; Universidades (UPTC, Nacional de Bogotá, UIS, Nacional de Medellín, EAFIT), pueden aportar más información sobre el tema.

Como resultado de la compilación se espera tener como mínimo la siguiente información Cartografía geológica compilada, cortes, información lito estratigráfica, geología estructural, análisis de la calidad del carbón (Tabla 68), resultados de contenidos de gas, saturación, cromatografía, permeabilidad, cálculo de reservas de carbón y reservas de gas de los estudios que han realizado diferentes entidades.

Esta información deberá complementarse con trabajo de campo y con base en la cartografía geológica se deben identificar los sitios más probables para la ubicación de los pozos exploratorios.

Tabla 68. Ejemplo calidad carbón Guachetá

NOMBRE DEL MANTO	ESPESOR (M)	ANOTACION
Cisquera del Santuario	0,90-1,80	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas
Siete Bancos	0,70-2,00	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas
Vidriosa	0,80-1,60	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas

6.2.3. Recursos y Reservas de Metano

El cálculo de recursos y reservas en gas asociado al carbón se adelanta con la misma perspectiva que se investiga cualquier otro recurso: con la idea de determinar si dicho recurso se puede explotar económicamente y si se puede comercializar en el medio.

Respecto al tema de reservas en el documento “estrategias para el aprovechamiento del gas metano asociado a los mantos de carbón en explotaciones bajo tierra” elaborado por la UPME en el 2016, se determina que el cálculo de reservas de gas en un depósito, bloque o área, se realiza multiplicando las reservas convencionales de carbón en el bloque respectivo (área del bloque*espesor útil de los carbones*densidad del carbón) por el contenido de gas. El término reserva de gas asociado al carbón se define como un recurso que ocurre naturalmente en la

corteza del planeta en tales formas y cantidades que la extracción económica es actual o potencialmente posible.

El cálculo de las reservas de gas asociado al carbón se debe ver desde dos puntos de vista:

- El grado de certeza geológica.
- El grado de factibilidad económica

Como no todo el gas calculado se puede recuperar y se producen pérdidas durante la explotación, se debe tener en cuenta la diferencia entre el gas calculado y el recuperado.

La certeza y la incertidumbre geológica resultan de las variaciones topográficas, tectónicas, del ambiente de deposición de carbón, de la erosión pos-deposicional y la alteración estructural. La geometría y morfología de los carbones varía de acuerdo con el sistema deposicional en el que se formaron.

Aunque no existe un método uniforme e internacional reconocido para la categorización de las reservas, el método del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (Wood *et al.*, 1983) es el más ampliamente conocido, y es la base para el método del cálculo de reservas de carbón en Colombia; por lo que también se ha utilizado por el Servicio Geológico Colombiano para el cálculo de reservas de gas asociado al carbón. El problema es que en dicho cálculo no se incorporan aspectos claves como: 1) Permeabilidad del carbón, 2) Saturación a partir de isotermas de adsorción y 3) Composición (específicamente porcentaje de metano determinado a partir de cromatografía de gases). Sin la claridad respectiva sobre los anteriores aspectos, solo se debe hablar de recursos.

Desde el punto de vista del gas, como en cualquier cálculo de reservas, se habla de una clasificación de tipo informal entre el gas *in-situ* y el gas recuperable. El gas *in-situ* es la suma del gas perdido, del gas medido en la prueba de desorción, y del gas residual. El gas recuperable es la porción del gas *in-situ* que se espera recuperar por medio de un desarrollo comercial, calculándose como un porcentaje del gas *in situ*, con un factor de recuperación que se determina por medio de evaluación ingenieril y económica, donde se considera la presión de la formación, la permeabilidad, la temperatura, el contenido de gas, el diseño de estimulación, la tasa de difusión o tiempo de desorción, la vida del pozo, etc.

En este mismo documento se realiza un análisis de los métodos y metodologías estándares para el cálculo de recursos y reservas de gas asociado a mantos de carbón y su aplicabilidad para Colombia.

6.2.4. Descripción de La Mina

Para la implementación de un proyecto de oxidación de gas metano en los ductos de ventilación se debe tener claro que los principales insumos es el gas metano y el caudal de aire proveniente de la ventilación de la mina es por esto que es de vital importancia tener una mina lo más organizada posible tanto en vías de acceso, de preparación y labores de explotación así como en cada una de las operaciones unitarias y de servicios, ya que el mínimo error u omisión de las tareas encomendadas puede generar pérdidas de caudal de aire y disminución de la cantidad de metano en el aire lo que conllevaría a tener problemas con la operación de los equipos de oxidación debido a que como se indicó anteriormente el funcionamiento de estos equipos depende de que se garantice un mínimo de metano contenido en el aire de la ventilación VAM.

Uno de los riesgos principales es que la ventilación sea obstruida, lo que provocará una variabilidad en el flujo y concentración de VAM lo que puede impactar significativamente la eficiencia de los sistemas de oxidación; además estos sistemas no pueden arrancar rápidamente o tener paradas no programadas, es decir el explotador minero deberá tener presente que el equipo debe funcionar casi que las 24 horas del día.

El planeamiento minero es el que permite la máxima recuperación de reservas, de tal forma que el proyecto sea técnico, económico, social y ambientalmente viable y sostenible en el tiempo entendiendo que este se adelantara en aquellas áreas del yacimiento que presenten bloques susceptibles de explotación y con suficientes reservas para proyectar el desarrollo de una o varias minas a largo plazo, con niveles de producción (Tabla 69) y tenores anual acordes con las condiciones del mercado, con incremento gradual en los primeros años y una producción sostenible en el largo plazo¹³.

Se debe tratar de cumplir al máximo con lo establecido en el planeamiento minero puesto que este nos determina la vida útil del proyecto minero y de oxidación o autogeneración, según sea el caso

¹³ https://www.anm.gov.co/sites/default/files/normativas/terminos_ref_exploracion_mineria.pdf

Tabla 69. Producción de carbón Uniminas S.A y Promincarg S.A.S.

UNIMINAS SA	
NOMRE DE A MINA	PRODUCCION (TON/MES)
YACIMIENTO SAN MIGUEL	1.216,00
EL CURUBO	300,00
INVERSIONES SIATOBA	880,00
MINA LA CECI	960,00

6.2.4.1. Diseño de la mina subterránea

Dentro del planeamiento minero se debe realizar un análisis de las alternativas de explotación según los datos obtenidos en los estudios de exploración, se deben identificar los bloques de explotación para posteriormente realizar un análisis comparativo donde se identifiquen las ventajas y desventajas técnicas y económicas de las alternativas de acceso a los mantos, estratos y minerales de desarrollo minero, de los métodos de explotación aplicables al mismo, de los volúmenes de producción de mineral asociados al sistema de minería, y de las inversiones requeridas para las diferentes alternativas de explotación del yacimiento o depósito. Esta evaluación definirá los parámetros y criterios para el diseño minero.

Se debe realizar el diseño del acceso principal y el planeamiento de las labores de desarrollo, preparación y explotación de los estratos y cuerpos mineralizados con sus respectivos niveles de producción anual. El rendimiento de la mina, como parámetro de diseño debe reflejar el nivel de tecnificación prevista para la explotación.

El diseño de la mina deberá mostrar la secuencia anual de avance de galerías, guías, sobre guías, cruzadas, tambores, frentes de explotación, y demás avances mineros requeridos para la explotación del yacimiento; esta secuencia de avances mineros se hará por bloques, niveles o mantos.

Posteriormente se calcularán las reservas explotables por boques, niveles o mantos y la calidad y la cantidad de mineral proyectado en boca de mina para determinar la vida útil de la mina

Se calcularán las reservas explotables y tenores por bloques, niveles, mantos, sustancia mineral, vetas y cuerpos mineralizados y la calidad y el tenor proyectado del mineral en boca de mina, incluyendo las pérdidas de mineral y la dilución de

roca por minería. Se calculará el porcentaje de recuperación de las reservas y la vida útil de la mina.

Adicional a lo anterior es importante contar con la siguiente información:

- Plano general de la mina subterránea, indicando la localización y proyección de los accesos, galerías, cruzadas, tambores, y demás estructuras subterráneas principales que definan el esqueleto de la mina.
- Planos de la explotación subterránea, por mantos, estratos, vetas, etc., indicando la localización y proyección de las labores de desarrollo y preparación, avances anuales de la explotación, e incluyendo las estructuras geológicas principales y los contornos estructurales del piso de los mantos, estratos y vetas (Tabla 70).
- Plano de ventilación indicando el circuito general de ventilación de las excavaciones subterráneas. Este tema por su importancia en la implementación del proyecto de oxidación de retomar en el capítulo posterior.
- Plano de infraestructura e instalaciones de soporte, con vías de acceso a la mina subterránea, túneles y tambores de ventilación de las explotaciones subterráneas, botaderos de estéril en superficie, patios de almacenamiento de mineral, talleres, oficinas, campamento, línea eléctrica, y demás instalaciones.

En este punto cabe recomendar tener localizados las comunicaciones que se tengan con otras minas y que puedan interferir en el desarrollo de las labores mineras.

Tabla 70. Ejemplo de mina de San Miguel

DESCRIPCION DE LABORES MINA SAN MIGUEL		
DESARROLLO	PREPARACION	EXPLORACION
Inclinado de 285 m, II nivel de 30m por manto zuncho 2 y 285 m por manto zuncho 1 , cruzadas cada 100 metros para tener accesos a mantos cisquera y 7 bancos con avance en el rumbo de 200 metros al sur y 100 metros al norte	Manto Zuncho 1: tambores al rumbo con longitud de 60 m y salideros cada 7 m, Manto cisquera 2 tambores de 30 m en el rumbo y salideros cada 7m, Manto 7 bancos tambores corte 26m y salideros cada 7 metros	Tajo corto: avance de tambor comunicado con el nivel superior se inicia con el encerado dejando 3 m de macho a la vía superior, se realiza la explotación en sentido de avance del nivel, el arranque del carbón se realiza en sentido descendiente dejando 4 m de machón al nivel.

6.2.4.2. Servicios a La Mina

De acuerdo con las condiciones de operación toda mina debe contar con unos servicios mínimos para garantizar que los trabajos al interior se realicen adecuadamente y en condiciones seguras para los trabajadores.

Sostenimiento: Los principales objetivos del sostenimiento es mantener los túneles abiertos y mantener ambientes de condiciones seguras que protejan a los mineros en sus diferentes actividades, el sostenimiento esta relaciona con el tipo de terreno donde se realizan los trabajos es por esto que se den realizar el estudio geotécnico el cual deberá proveer la información necesaria para la elección del tipo de sostenimiento y el control de techos y la subsidencia de terrenos entre otros.

El artículo 75 del decreto 1886 de 2015 establece que todo titular de derecho minero, explotador y empleador minero, deben adoptar las medidas que sean necesarias para asegurar que las labores mineras subterráneas no presenten derrumbes ni desprendimientos de rocas que pongan en peligro la vida e integridad de las personas.

El titular minero debe garantizar además de lo anterior la seguridad de los equipos e instalaciones por consiguiente cualquier tipo de falla en el sostenimiento podría generar desprendimientos de rocas o derrumbes lo que podría ocasionar entre otras cosas una obstrucción de la ventilación, disminución de caudal, disminución del contenido de metano etc. Lo que afectaría gravemente la operación y funcionamiento del sistema de oxidación.

El artículo 83 del decreto 1886 establece que las labores de sostenimiento deben garantizar la seguridad, tanto de las personas, como de los equipos. Igualmente se debe garantizar que en superficie tanto las obras civiles como la infraestructura existente, no se vean afectadas por subsidencia. Por lo anterior se debe hacer un diseño con los cálculos respectivos que sirva para establecer las dimensiones mínimas y la localización.

Electricidad: El sistema eléctrico de la mina tiene una importancia significativa en la operación minera puesto que entre otras cosas es la encargada de mover los diferentes sistemas de ventilación, de allí el valor que tiene en la operación y funcionamiento de un proyecto de oxidación VAM.

Lo ideal es que el sistema eléctrico no sufra ningún corto o sobrecarga que interfiera en el funcionamiento de los ventiladores ya que esto puede ocasionar disminución de velocidad, pérdidas de caudal de aire y disminución de la cantidad de metano en el aire lo que conllevaría a tener problemas con la operación de los equipos de oxidación recordemos que estos equipos están diseñados para funciona con un

rango mínimo de metano y de aire y cualquier variabilidad en el flujo y concentración de VAM pueden impactar significativamente la eficiencia de los equipos.

Por lo tanto, se recomienda que el experto en electricidad de la mina diseñe un sistema eléctrico de tal manera que en caso de cortos o sobrecargas se garantice que los ventiladores siguen funcionando correctamente dando cumplimiento al plasmado en el decreto 1886 de 2015 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE...

Centrales eléctricas conectadas a la red eléctrica, donde la actividad del proyecto exporta energía a la red, según la definición del sistema eléctrico del proyecto y el sistema eléctrico conectado que figura en "Herramienta para calcular el factor de emisión de los sistemas eléctricos"

Transporte: Hace referencia a los sistemas de transporte utilizados para el desplazamiento de carbón, estéril o insumos de un lugar a otro por cualquier medio manual realizado cuando son trayectos cortos y con una pendiente muy suave o mecanizado determinado por la existencia de un mecanismo fijo o móvil que aplica una fuerza y provoca el desplazamiento del objeto.

6.2.4.3. Sistema de Ventilación

De acuerdo al documento "Guía de mejores prácticas para el drenaje y uso eficaz del metano en las minas de carbón") publicado por la ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (ECE) en el 2010 "*Los sistemas de ventilación de la mina son componentes críticos de un sistema general para eliminar efectivamente el metano de las explotaciones mineras. Se ha diseñado un sistema de ventilación de mina para lograr tres objetivos: 1) proporcionar aire fresco respirable para los trabajadores, 2) controlar la temperatura del aire de la mina y la humedad, y 3) diluir o eliminar los gases peligrosos y polvo respirable en el aire con eficacia....Las mejoras de los sistemas de drenaje de metano a menudo pueden proporcionar una solución más rápida y rentable para los problemas de gas de mina ya que simplemente aumenta el suministro de aire de la mina*".

Seguridad primero -Los sistemas de ventilación diseñados adecuadamente deben forzar el flujo de aire fresco a lo largo de los conductos subterráneos activos de las minas y luego de regreso a la superficie conteniendo el metano diluido. El único requisito para un adecuado sistema de ventilación es que la concentración de metano en el aire de ventilación cumpla con los estándares de seguridad. En un proyecto VAM no hay estructuras especiales que se deben desarrollar en la mina. El aire de ventilación debe fluir hacia el exterior a través de vías designadas.

De todas formas la concentración de metano variará de acuerdo con las actividades mineras y la presión barométrica. Por lo tanto, la cantidad de metano que se está

extrayendo de la mina fluctuará a través del sistema de ventilación. No hay forma de manejar la concentración más que disminuirla aumentando la cantidad de aire para disminuir la concentración de metano.

Condiciones ideales del sistema de ventilación en proyectos VAM: Es importante que la construcción de la red de conductos sea específica para el diseño de la salida del sistema de ventilación (también conocida como évassé). El criterio de diseño más importante es que el sistema de captura VAM no impida el flujo de aire que sale de la mina.

En un sistema convencional de ventilación no es recomendable conectar directamente el sistema de captura a un évassé. La mayoría de las minas colombianas no tienen évassé, esto genera una dificultad grande en proyectos VAM.

Aunque los sistemas actuales en las minas de carbón colombianas parecen estar funcionando, podrían verse abrumados por los repentinos flujos de gas provenientes de los mantos de carbón, existen muchas razones de seguridad que sugieren que las minas deben cambiar los sistemas de ventilación. Un proyecto de implementación de VAM en una mina de carbón en Colombia debe incluir un sistema de ventilación más confiable para garantizar la seguridad y permitir que la unidad de destrucción VAM demuestre su efectividad. Es recomendable que una mina que tenga varios ventiladores, como los de la mina de San Miquel podrían ser reemplazados por un único ventilador axial en la superficie y aumentarse según sea necesario con ventiladores de refuerzo (dispositivo de ventilación subterráneo instalado en serie con un ventilador de superficie principal), La instalación de un ventilador de superficie axial requeriría la construcción de una base permanente para el montaje del ventilador y la configuración de la mina para permitir la entrada a través de una o más vías y el flujo de salida a través de la vía del ventilador axial. Este será un problema que deberá abordarse si se implementa un proyecto piloto (Raymond C. Pilcher, P.G., comunicación escrita, 2017).

6.2.5. Producción de VAM

Para evaluar la factibilidad técnica y económica para implementar un proyecto VAM, se debe tener una mina que cumpla con todas las características técnicas y de seguridad que exige la normatividad legal colombiana además debe contar con ciertas condiciones mínimas que garanticen la estabilidad del contenido de metano y flujo de aire como las que se describieron anteriormente

Adicional a lo anterior se debe tener un conocimiento mínimo de las características de la producción de metano de la mina por esto si el explotador minero está interesado en la implementación de un proyecto de oxidación de los ductos de

ventilación VAM se debe hacer un seguimiento de los porcentajes de metano emitido por la corriente de aire de ventilación y las variaciones en la concentración de metano y en el caudal de aire de ventilación, este seguimiento se recomienda hacerlo durante mínimo 4 meses continuos.

Con los datos obtenidos del seguimiento inicia la evaluación y análisis de las tecnologías existentes en el mercado y su aplicación en proyectos internacionales para determinar que métodos (autogeneración u oxidación) y que tecnología se puede aplicar para las condiciones VAM que se tienen en la mina.

6.2.5.1. Consideraciones para la Toma de aforos

Antes de iniciar con la toma de datos en la mina los expertos en ventilación deben realizar una planificación y programación de los trabajos de medición de tal manera que no interfieran con la dinámica de trabajo de la mina además el personal que trabaja al interior debe estar enterado de las actividades a realizar para tomar las medidas necesarias de seguridad (Tabla 71).

Estos trabajos de medición deben contar con el visto bueno del ingeniero encargado de la operación y de la persona encargada de la seguridad y salud en el trabajo de la mina.

Tabla 71. Modelo de aforo en las minas

MEDICION DE GASES							
NOMBRE DE MINA			FECHA:				
N	Hora	Medida de Medida	Gases				
			CO (ppm)	H2S (ppm)	O2 %	CH4 %	CO2 %
1	8:00	Aforo Superficie Aire Normal	0	0		0	0
2	8:15	Aforo lugar 1					
3	8:30	Aforo lugar 2					
4	8:40	Aforo lugar 3					
5	8:50	Aforo lugar 4					
6	9:00	Aforo lugar 5					
7	9:10	Aforo lugar 6					
8	9:20	Aforo lugar 7					
9	9:30	Aforo lugar 8					
10	9:40	Aforo lugar 9					
11	9:50	Aforo lugar 10					

6.2.5.2. Volumen de aire producido

El caudal de aire es la medida de volumen de aire en la unidad de tiempo, para ello se mide la velocidad de aire que atraviesa una sección dada. Las unidades en se mide el caudal son en m³/s y para ello cuantificamos la velocidad del aire en m/s y la sección en la que se mide en m².

El decreto 1886 de 2015 establece en el artículo 54 el cálculo del volumen mínimo de aire “el volumen mínimo de aire que debe circular en cada labor subterránea tiene que calcularse teniendo en cuenta el turno de mayo personal, la elevación de este sobre el nivel del mar, los gases o vapores nocivos, los gases explosivos inflamables y los gases producto de las voladuras, de acuerdo con los siguientes parámetros.

- Excavaciones mineras hasta 1.500 m.s.n.m: 3m³/min por cada trabajador y;
- Excavaciones mineras de 1.500 m.s.n.m en adelante 6m³/min por cada trabajador”

Parágrafo: las cantidades mínimas de aire a que se refiere el presente artículo, deben ser incrementadas de acuerdo con la calidad y cantidad de los agentes nocivos presentes en la atmosfera, con el propósito de mantener unas condiciones de saneamiento adecuadas.

El artículo 57 de dicho decreto establece que los caudales de ventilación que circulen en todas las vías de la labor minera subterránea, deben verificarse cada semana o con una mayor frecuencia si el responsable técnico de la mina así lo determina; estas mediciones deben anotarse en el plano de ventilación, tableros y registros

En la mina la toma de datos se debe realizar en cada una de las estaciones de medida que el explotador, titular u operador minero con su equipo técnico hayan determinado.

El departamento de topografía debe calcular la sección útil de las galerías en los puntos de medición seleccionados y las coordenadas y cota de cada estación de medida, sin embargo las personas encargadas de la medida de aforos deben realizar una medida aproximada de todas las secciones.

Para la medición de la velocidad de la corriente de ventilación que circula por cada una de las galerías donde están ubicadas las estaciones de medición se utilizara un anemómetro y el caudal que circula por cada estación de medida se calcula a partir de la sección útil de la galería en la estación de medida y el promedio de la velocidad media en ella.

De igual manera en cada estación de medida se tomara datos de las concentraciones de gases presentes con un multi detector de gases.

Todos los datos deberán estar contenidos en una hoja de cálculo donde se lleve el registro y seguimiento de las tomas obtenidas en campo.

6.2.5.3. Volumen de metano producido

El artículo 47 del decreto 1886 de 2015 establece que las labores mineras subterráneas de carbón de la categoría III (altamente grisutuosas) además de contar con el equipo o equipos de medición, deben implementar un sistema de monitoreo permanente y continuo de metano y oxígeno, en las vías principales de transporte y ventilación, en:

- Los frentes de avance y de explotación;
- Los trabajos comunicados con el circuito de ventilación de la mina; y
- Las vías de circulación de personal.

Ahora, el volumen de metano producido es el principal insumo para la implementación de un proyecto de oxidación u autogeneración de los ductos de ventilación en minas subterráneas según sea el caso, por tal motivo se debe hacer un monitoreo continuo del flujo y la concentración del gas en cierto periodo de tiempo.

El dato de presión atmosférica es interesante conocerlo, ya que en momentos de presión alta, el gas, tiene más dificultad para salir al exterior que en momentos de baja presión. La idea es realizar varias medidas a distintas presiones en varios puntos dentro de la misma sección ya que la salida del gas metano no es uniforme, es por esto que se recomienda realizar un seguimiento mínimo de 4 meses para confirmar de esta manera el contenido de metano (%) que tiene el aire de la ventilación y verificar que este contenido este dentro de los parámetros y requisitos para operar las diferentes tecnologías existentes.

Todos los datos deberán estar contenidos en una hoja de cálculo donde se lleve el registro y seguimiento de las tomas obtenidas en campo (Tabla 72).

Tabla 72. Ejemplo San Miguel

VOLUMEN DE METANO									
OBS	PUNTO DE MEDIDA	V PROM (m/s)	CH ₄ (%)	AREA (m ²)	Q m ³ /seg	Q m ³ /min	VOL CH ₄ /DIA (m ³ /día)	VOL CH ₄ /MES (m ³ /mes)	VOL CH ₄ /AÑO (m ³ /año)
ENTRADA DE CAUDAL	Inclinado San Miguel 2 (Abscisa 5)	1,5	0	3,3	5,1	304	0	0	0
	Aire Comprimido				0,1	8,1			
	Inclinado San Miguel 1 roble (Abscisa 10)	0,8	0,4	3	2,4	146	737,25	22.118	265.410
SALIDAS DE CAUDAL	Tambor de ventilación Zuncho 2 al sur (superficie)	1,7	0,8	0,4	0,7	41	455,57	13.667	164.005
	T. de Ventilación Sur Z 2. Cisquera - Superficie	1,4	1	1	1,4	84	1.216,51	36.495	437.944
	Nivel Norte 3 Com/cion Diamante 7 (Abscisa 10)	0.944	0,3	0,7	0,7	42	181,4	5.442	65.303
	TOTAL						2590,73	77.722	<u>932.663</u>

6.2.5.4. Cálculo de emisiones CO₂e

Las minas de carbón subterráneas suelen ventilarse mediante descarga de aire hacia la superficie, a través de túneles subterráneos, para mantener una atmósfera segura. El aire de la ventilación recoge el CH₄ y el CO₂ que se liberan de las formaciones de carbón y los transporta a la superficie, donde se emiten a la atmósfera.

La concentración de metano que se encuentra en el aire de ventilación suele ser baja, pero su caudal volumétrico normalmente es considerable y, por lo tanto, las emisiones de metano procedentes de esta fuente pueden ser muy significativas.

El CH₄ es el principal gas de efecto invernadero que se emite a través de la minería carbonífera y del manejo de carbón.¹⁴ De allí la importancia de establecer una línea base de emisiones de metano de la mina ya que uno de los objetivos de la implementación de un proyecto de oxidación de gas metano de los ductos de ventilación es precisamente disminuir las cantidades de CO₂ –e que se emiten a la atmosfera.

Para Colombia se puede realizar el cálculo de emisión utilizando el nivel 2 la fórmula sugerida por I.P.C.C., debido a que se conocen los parámetros para emisiones de metano por cuenca geológica (Tabla 73), para cada mina debe ubicarse en la cuenca geológica y aplicar la fórmula

$$E.G. = P.C. * F.E. * F.C.$$

En donde:

E.G: Emisión de Gas Metano

P.C.: producción de carbón

P: C:= producción anual de la mina

F.E.: factor de emisión

F.E.= 13.03 m³/ton para los carbones de Cundinamarca

F.C factor de corrección

F.C.= 0.67X10⁻⁶ Gg/m³

Tabla 73. Factor de emisión para las cuencas carboníferas Colombianas que tiene explotación subterránea de carbón

CUENCA	F.E.: FACTOR DE EMISIÓN	FACTOR DE CONVERSION (IPCC, 2006)
	m ³ /ton	Gg/106 m ³
CUNDINAMARCA	13,03	0,00000067
BOYACA	7,17	0,00000067
SANTANDER NORTE	7,17	0,00000067
ANTIOQUIA	2,93	0,00000067
VALLE	2,93	0,00000067
CAUCA	2,93	0,00000067
CASANARE	1,95	0,00000067

14

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf

[http://www.ipcc-](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf)

En el documento Propuesta De Cálculo Del Factor De Emisión Del Carbón Colombiano Para Estimar Las Emisiones Fugitivas Procedentes De La Extracción Del Carbón En Colombia, realizado por la UPME Los resultados muestran que debido a que los contenidos de gas metano asociado al carbón en las cuencas colombianas no son tan altos, comparados con los países productores sobre los cuales se han realizado la mayoría de estudios técnicos e investigaciones de gas metano asociado a los mantos de carbón, las emisiones de la extracción de carbón en Colombia resultan menores a las calculadas con factores de emisión internacionales (I.P.P.C. 2006).

Como la emisión de gases en las minas es dinámica y se incrementa a medida que las labores mineras se profundizan, los índices se pueden ir actualizando al incorporar información de nuevas perforaciones, de las cuales también se deberá obtener información de los contenidos de gas en las rocas circundantes, para de esta forma aumentar la precisión de la estimación al eliminar el supuesto del contenido de gas metano para estratos circundantes.

El Factor de Emisión se obtuvo de la suma del contenido promedio de gas metano a diferentes profundidades, más un factor de emisión supuesto para los estratos circundantes, menos el valor del gas residual.

Factor de emisión supuesto para estratos circundantes: Teniendo en cuenta que las rocas circundantes a los mantos de carbón también emiten metano, afectando una zona de influencia correspondiente a 50 m por debajo y 150 m por encima del manto de carbón, se adiciona un 60% de gas medido en los mantos como emisión de las rocas circundantes (para minería subterránea) y de cero para minería a cielo abierto.

Gas residual: Es el gas que permanece en el carbón, a menos que la muestra se pulverice, ya que se encuentra en la matriz del carbón. Los estudios mencionados anteriormente presentan un promedio del gas residual del 30%. Este gas residual no es tenido en cuenta para el cálculo de las emisiones causadas por la explotación del carbón; se considera que debe ser tenido en cuenta en las emisiones calculadas por el consumidor final.

6.2.6. Estudio de alternativas para La selección del Equipo para aprovechamiento o eliminación del VAM

La selección de una u otra técnica y equipo a utilizar atiende a factores técnicos y económicos. Para determinar que alternativa se adecua más a los datos obtenidos en la mina se realiza una evaluación de las tecnologías de destrucción de metano contenido en el aire de la ventilación VAM y de esta manera determinar la aplicabilidad en las minas subterráneas de carbón colombianas.

A manera de ejemplo en la **Tabla 74** se enumeran algunas compañías de tecnologías de destrucción y se destacan las condiciones mínimas de aire de ventilación requeridas para operar con seguridad los sistemas de destrucción de metano. La Tabla 75 presenta las principales compañías de equipos VAM en el mundo y el nombre de la tecnología que fabrican.

Los volúmenes totales de flujo de aire de ventilación requeridos para operar dichas tecnologías varían entre 900 y 125,000 m³/h y las concentraciones de metano en el aire requeridas para operar las tecnologías oscilan entre 0,15 y 1,50%.

Tabla 74. Comparación tecnologías VAM.

Tecnología VAM	Capacidad (valorado aproximado)	Requisito mínimo de concentración VAM (%)	Eficiencia de eliminación de metano (%)	Estado del Implementación
CH4MIN	900 m ³ /h (530 scfm)	0,15	95	Pruebas de laboratorio con gas natural
Ecopure®	RL 6.287-101.952 m ³ /h (3.700-60.000 scfm)	0,2	99	Historia de las aplicaciones de control de COV industriales
EESTech HCGT	5-30 MW potencia de salida	TBD	TBD	Desconocido
Flex-Microturbina	6.243 m ³ /h (3.674 scfm) para unidad de 250kW	3 - 5	99 (objetivo)	Piloto/demostración en el vertedero
Modelo GCE CH4	84.960 m ³ /h (50.000 scfm)	0,25	95	Historia de las aplicaciones industriales de control de COV
Oxidante Sheng Dong	60.000 m ³ /h (35.316scfm)	0,25	95	Instalación industrial de COV en China
VAMCAT	TBD	1.0	TBD	Desconocido
VAMOX	hasta 169.920 m ³ /h (100.000 scfm)	0,2	98	Historia de las aplicaciones industriales de control de COV; proyecto comercial en curso de oxidación de VAM en EE. UU.
VOCSIDIZADOR	125.000 m ³ /h (73.575 scfm)	0,2	97	Historia de las aplicaciones industriales de control de COV; proyecto comercial en curso de VAM a potencia en Australia.

Fuente: Somers & Schultz, 2010

Tabla 75. Tecnologías de VAM disponibles en el mercado.

EMPRESA	PAIS	TECNOLOGÍA
MEGTEC	Suecia	Vocsidizers
BIO THERMICA	Canadá	VAMOX TM
Dürr	USA	McElroy VAM
Gulf Coast Environmental	USA	CH4 RTOTM
Canmet	Canadá	CH4MINTM
EESTech	Australia	RTO ESTECH
HEL East Ltd	Inglaterra	CRT
Ener-Core, Inc	USA	Powerstation EC250
Johnson Matthey Process Technologies	Inglaterra	COMET TM
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	Australia	VAMCAT TM
Fortman (Beijing) Clean Energy Technology Ltd	China	RTOVAM

Fuente: comunicación escrita Santillan (2017).

Teniendo en cuenta las especificaciones de funcionamiento de las tecnologías VAM se procede a comparar y analizar el potencial de una u otra tecnología, basándose en las especificaciones de operación de las unidades de destrucción VAM y los datos reportados de las minas.

A manera de ejemplo se ilustra la comparación grafica entre cada unidad de destrucción VAM y los datos de varias minas de carbón colombianas mediante el trazado de la concentración de metano en el aire contra el volumen de flujo de aire de ventilación requerido por cada tecnología y los datos registrados en cada mina (ver Figura 70), allí se puede observar que las posibles tecnologías VAM aplicables a las condiciones de las minas son proporcionadas por CanMet, Dürr, Gulf Cost Environmental Systems y Biothérmica.

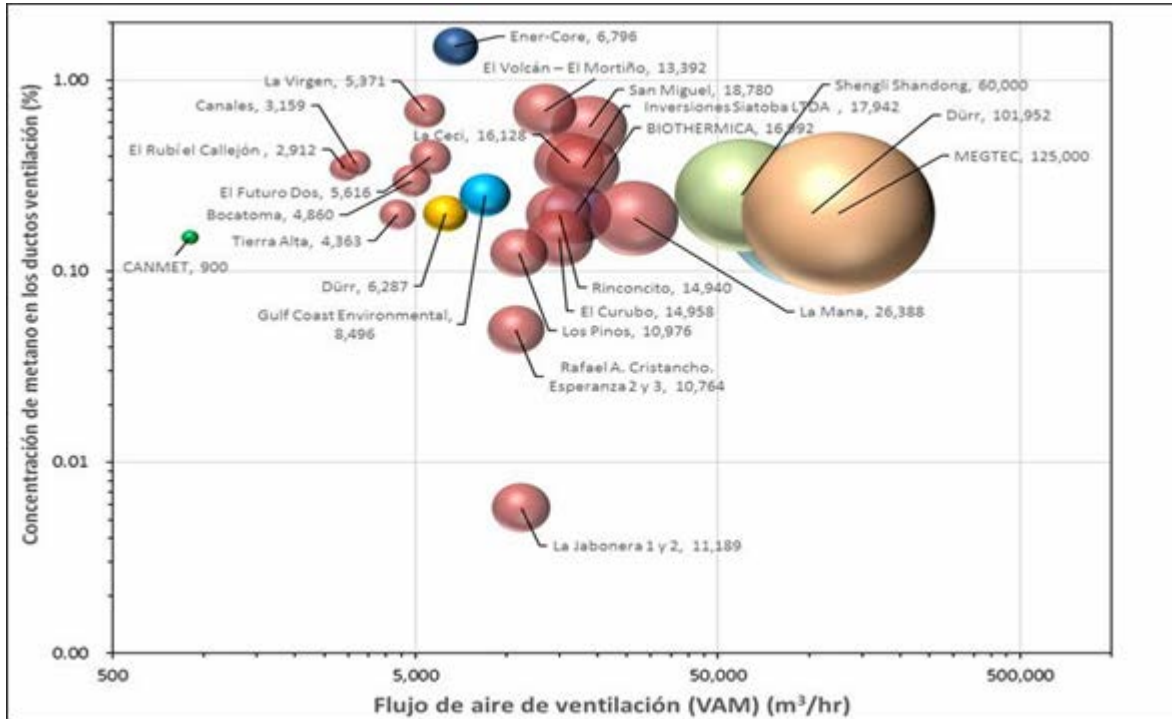


Figura 70. Comparación de los parámetros de ventilación de las minas de carbón con las especificaciones de funcionamiento de la tecnología VAM

6.2.6.1. Cómo escoger un equipo para utilizar en Colombia.

Continuamente salen al mercado nuevas tecnologías que se pueden utilizar en sistemas VAM de minas de carbón. Ya sea para generación u oxidación del gas metano. Es importante comparar las diferentes alternativas. Los oxidantes térmicos regenerativos (RTO's) son los más apropiados para las condiciones mineras que existen o existirán en el corto y mediano plazo en Colombia.

La Tabla 78 compara cuatro diferentes tecnologías VAM con sus ventajas y desventajas.

Tabla 76. Comparación de cuatro tecnologías de mitigación del VAM.

TECNOLOGÍAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
RTO Una lata Media cerámica	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología probada, mayor experiencia. • Diseño compacto. • Las tuberías de vapor embebidas permiten recuperar el calor si la concentración lo permite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo tiempo de residencia, • altas temperaturas de oxidación y carga parasitaria. • Alto costo de equipo
RTO dos latas Media cerámica	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología avanzada y probada. • Mayor tiempo de residencia, • menor temperatura de oxidación y carga parasitaria. • Una gran variedad de proveedores para elegir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor cobertura que el diseño de una sola lata.
RCO dos latas medio catalítico	<ul style="list-style-type: none"> • Menor temperatura de oxidación y carga parasitaria. • Mayor tiempo de vida útil, • mayor eficiencia térmica. • El diseño mecánico está probado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los medios catalíticos pueden ser envenenados por contaminantes en el VAM. • Catalizador no probado. • Alto costo de equipo, • Alto riesgo técnico.
Aire de combustión para turbinas eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • El contenido adicional de energía del VAM reduce el consumo total de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • La suciedad/agua en el VAM causa dificultades operativas significativas. • Tecnología nueva y no probada. • Sólo consume un pequeño volumen de VAM

Fuente: Somers and Burklin (2012)

6.2.6.2. Características de operación del equipo y diseño del Sistema VAM

Si lo que se escoge es un equipo RTO se debe tener en cuenta que estos equipos son operados como unidades independientes, y se instalan generalmente cerca de la salida de extracción de la ventilación, o évassé.

Se debe tener en cuenta que este évassé no debe ser obstruido por ninguna parte del sistema RTO, en el caso de minas de tamaños pequeños es necesario dejar un espacio entre el évassé y la entrada al RTO para garantizar la seguridad en el equipo y la mina.

En un sistema convencional de ventilación no es recomendable conectar directamente el sistema de captura a un évassé. La mayoría de las minas

colombianas no tienen évassé, esto genera una dificultad grande en proyectos VAM. Tampoco es recomendable sistemas de ventilación diseñados como una serie de ventiladores axiales portátiles que mueven el aire a través de la mina.

Se requiere hacer el diseño de:

- Colector VAM
- Dispositivo de transporte VAM
- Establecer una red de sistemas de monitoreo de la ventilación y demás sistemas de seguridad.

Capacidad de procesamiento de aire: La cantidad de aire que fluye en cada mina es variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas, de manera que la calidad del aire se mantenga por debajo de los niveles de seguridad especificados, que normalmente son de 0.7% de metano en promedio (Tabla 2), para Colombia este nivel de seguridad es del 1% (Decreto 1886 del 2015).

Tabla 77. Límites de Concentración de Metano Inflamable Aconsejados, FUENTE: UN-ECE, (2010).

Limitando la concentración de metano inflamable [%]	Australia	China	Alemania	India	Sur África	Reino Unido	USA	Factores de seguridad ^a
Máximo por debajo del cual está permitido trabajar en general	1.25	1.0	1.0	1.25	1.4	1.25	1.0	3.6 – 5.0
Máximo por debajo del cual se permite el trabajo en conductos de retorno	2.0 ^b	1.5 ^g	1.5	0.75	1.4	2.0 ^b	2.0 ^b	2.5 - 6.7
Mínimo permitido para utilización	na ^e	3.0	2.5	na ^f	na ^f	4.0	2.5 ^c	1.7 – 2.7
Mínimo para el transporte subterráneo por tuberías	na ^e	na	22	na ^f	na ^f	na ^e	na ^d	1.5

- (a) Los factores de seguridad indican el rango de múltiplos por debajo del límite inferior de explosividad del 5% o por encima del límite explosivo superior de 15% de metano en el aire;
- (b) Si no hay electricidad;
- (c) Los Estados Unidos maneja la desgasificación del metano en el plan de ventilación, no hay códigos o reglamentos;
- (d) No se considera un problema en forma de gases terraplén de concentración baja, son generalmente drenados en pozos superficiales;
- (e) Determinado por la evaluación local de riesgos;
- (f) Pocas o ninguna aplicación por lo que no se abordan;
- (g) El 2,5% para un retorno sin viaje;
- (h) En la India, las normas de metano se especifican en el Reglamento de Minería de Carbón de la India de 1957, que se basa en la Ley de Minas de 1952.

Suministro de agua: Si los sistemas están diseñados sólo para la destrucción, las necesidades de agua son mínimas a inexistentes, excepto para la limpieza y/o seguridad. Sin embargo, para la operación comercial donde se incluyen los sistemas de recuperación de calor y generación de energía, será necesario un amplio suministro de agua de recuperación y recuperación de vapor.

6.2.7. Diseño y adecuación del Área para la construcción de las Instalaciones de Soporte.

Tanto el diseño del sistema, la adecuación del área como la construcción deben ser cotizados y construida por empresas especializadas. Los costos de la construcción consisten principalmente en las siguientes partes:

- costo del equipo,
- costo de construcción
- costo de instalación.

Instalación de equipos: Instalación de quemadores, oxidación catalítica, energía cautiva y generación de calor como parte de la actividad del proyecto. Todos los equipos instalados y utilizados como parte de la actividad del proyecto para la extracción, compresión y almacenamiento de CMM y CBM en el sitio del proyecto, y el transporte a un usuario fuera del sitio.

6.2.8. Estudio económico financiero-

Implementar un proyecto de oxidación térmica VAM en Colombia es crucial para el futuro sostenible de la minería subterránea del carbón, permitiendo la continuidad de la actividad extractiva mitigando las emisiones de gases de efecto invernadero

Para realizar un adecuado análisis financiero de un proyecto VAM, este debe tener además de los costos directos, los costos adyacentes al proyecto y que tiene que ver con las emisiones de CO₂ que se dejaron de producir gracias al proyecto y las emisiones que se realizaran por el proyecto. Con el fin de determinar las emisiones de la actividad del proyecto, los participantes del proyecto deberán incluir:

Son varios los aspectos económicos a tener en cuenta en un proyecto VAM pero se pueden esquematizar en

- Costo de Capital
- Costo de Operación
- Tamaño del proyecto
- Créditos de energía renovable vendibles (Para el caso en el que exista un mercado de bonos o créditos de Carbono)
- Valores económicos como:

- Tasa Interna de Retorno
- Valor Presente Neto (VPN)
- Periodo de amortización
- Flujo de caja

Costos generales del proyecto: Los costos generales estimados para un proyecto de oxidación se pueden clasificar en tangibles e intangibles, costos de operación, costos de mantenimiento y costos de capital (Tabla 78 - Tabla 79 - Tabla 80)

Tabla 78. Ejemplo Estructura de costos fijos tangibles proyecto VAM para minas tipo San Miguel

ACTIVOS FIJOS		
1. TANGIBLES		
A. OBRAS FISICAS		
ITEM	ACTIVIDAD / EQUIPO	USD
En la mina	Adecuación del sistema de ventilación (obras de reforzamiento del sostenimiento, ventiladores, ductos de transporte del aire, évassé	30.000,00
En superficie	Adecuación del terreno	10.000,00
	Construcción de la plataforma para la instalación del equipo	30.000,00
INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS DE APOYO	Estudios de diseño y construcción de infraestructura eléctrica, de colectores de aguas lluvias, de gas y de bombeo de ser necesarios. De igual manera talleres, bodegas, oficinas de operación	30.000,00
TOTAL OBRAS FISICAS		100.000,00
B. PLANTA Y EQUIPO		
ITEM -ACTIVIDAD	USD	
RTO y évassé	295.000,00	
Tuberías	50.000,00	
Transporte desde usa	20.000,00	
Nacionalización	20.000,00	
Almacenaje	20.000,00	
Transporte a la mina desde puerto	10.000,00	
Instalación equipo	20.000,00	
TOTAL PLANTA Y EQUIPOS		435.000,00
TOTAL TANGIBLES		535.000,00

Tabla 79. Ejemplo Estructura de costos fijos intangibles proyecto VAM para minas tipo San Miguel

2. INTANGIBLES		
ITEM	ACTIVIDAD / EQUIPO	USD
	Estudio de factibilidad	30.000,00
	Costos de modificación del PTO	20.000,00
	Costos de modificación de la licencia ambiental	20.000,00
	Costos de asesoría legal	10.000,00
	Costos de personal en la construcción y puesta en marcha del proyecto.	30.000,00
	Costos de puesta en marcha	10.000,00
	Costos de capacitación	20.000,00
	TOTAL INTANGIBLES	140.000,00
	TOTAL ACTIVOS FIJOS	675.000

Tabla 80. Ejemplo Estructura de otros costos proyecto VAM

OTROS COSTOS		
Costos de operación	Generales de oficina	
	De personal	
	Servicios Públicos	
De Mantenimiento	De personal técnico	
	Cambio de repuestos	
De capital	Financieros	
	De capital (ponderados)	
	TOTAL OTROS COSTOS	

Tabla 81. Información requerida por el modelo de flujo de caja de la EPA (Insumos de Costos).

DISPONIBILIDAD DE GAS	UNIDADES
¿Cuál es la concentración de metano en el aire de ventilación?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el flujo de aire de ventilación que espera recuperar?	1000 m ³ /m
DATOS DE ENTRADA DEFINIDOS POR EL USUARIO	UNIDADES
¿Cuál es el tiempo de vida operacional planeado para el proyecto?	Años
¿A qué término es el préstamo?	Años
¿Cuál es la tasa de interés aplicada al préstamo?	Porcentaje (%)
¿Cuál es la participación de capital del promotor del Proyecto?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el precio de venta de la unidad de crédito de carbono?	US \$/Tonelada CO ₂ E
¿Cuál es el costo de capital instalado del sistema de oxidación VAM?	US \$/m ³ /m
¿Cuál es el costo de operación y mantenimiento anual del sistema de oxidación VAM?	US \$/m ³ /m-año
¿Cuál es la frecuencia con la que será reubicado el sistema de oxidación VAM?	Años
¿Cuál es el costo de reubicación del Sistema de oxidación VAM (Incluyendo la preparación del nuevo sitio)	US \$/m ³ /m
¿Cuál es la carga eléctrica de los ventiladores?	kWh/1000 m ³
¿Cuál es el costo de la energía eléctrica usada por el Proyecto?	US \$/MWh
PARÁMETROS POR DEFECTO	UNIDADES
¿Cuál es la tasa de inflación?	Porcentaje (%)
¿Cuál es la tasa real de descuento?	Porcentaje (%)
¿Cuáles son los regalías e impuestos de cesantías?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el factor de contingencia?	Porcentaje (%)
¿Cuántas horas por año estará en operación el Sistema de oxidación VAM?	horas/año
¿Cuáles son los costos indirectos del Proyecto?	Porcentaje (%)
¿Cuál es el costo de validación, verificación y transacción para monetizar los créditos de carbono?	US \$/Tonelada CO ₂ E

6.2.9. Modelo Para Compilación De Información De Un Proyecto VAM

Nombre de Proyecto:		Contrato de Concesión:	
Consideraciones legales sobre la propiedad del gas metano:		Definición si es propietario del carbón y del gas	
DIAGNOSTICO MINERO			
Características Fisiográficas	Descripción detallada que defina el área		
Localización	Descripción detallada de localización, coordenadas, departamento, municipio.		
Topografía – relieve	Mapa detallado, escala mínima 1: 2.000 plasmado relieve, infraestructura, accidentes geográficos		
Hidrología	Estudio Hidrológico		
GEOLOGÍA			
Caracterización geológica del yacimiento. Modelo geológico, Mantos de carbón, respaldos, pliegues y fallas (Tabla 68)			
RECURSOS Y RESERVAS DE METANO			
Recursos Prospectivos (Estimación baja, estimación media, estimación alta)			
Recursos Eventuales (1c – 2c – 3c), desarrollo no viable, desarrollo no aclarado, desarrollo pendiente			
Reservas (1P – 2P – 3P) – Desarrollo justificado – dirigido, prospectivo			
DESCRIPCION DE LA MINA			
Diseño de la mina subterránea	Método de explotación Tajo Largo – Tajo corto, etc. secuencia anual de avance de galerías, guías, sobre guías, cruzadas, tambores, frentes de explotación, y demás avances mineros requeridos para la explotación del yacimiento. Plano general de la mina subterránea, Planos de la explotación subterránea, Plano de ventilación, Plano de infraestructura e instalaciones de soporte.(Tabla 69 y Tabla 70)		
Servicios A La Mina	Sostenimiento Electricidad Transporte		
Sistema de Ventilación	Descripción del sistema de ventilación		
PRODUCCIÓN DE VAM			
planificación y programación de aforos	Descripción del programa de aforos (ver Tabla 71)		
Volumen de aire producido	Caudal de aire medido por unidad de tiempo		
Volumen de metano producido	un seguimiento mínimo de 4 meses (Tabla 72)		
Cálculo de emisiones CO_{2e}	E.G. = P.C.*F.E.*F.C. (Tabla 73)		
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO SELECCIONADO Y DEL ÁREA DE INSTALACIÓN.			
Tecnología seleccionada	La selección de una u otra técnica y equipo a utilizar atiende a factores técnicos y económicos, solicitar cotización a una empresa especializada (ver Tabla 67)		

	<p>REGENERATIVE THERMAL OXIDIZER – RTO: Oxidante Térmico Regenerativo, también conocido Reactor de Inversión de Flujo Térmico (TFRR)</p> <p>CFRR: Reactor Reverso de Flujo Catalítico, también conocido por el término Oxidantes Regenerativos Catalíticos (RCO).</p> <p>Ver <i>Tabla 74 - Tabla 75 y Tabla 4</i></p>										
	<table border="1"> <tr> <td>Capacidad de procesamiento de aire</td> <td>variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas ver Tabla 2</td> </tr> <tr> <td>Capacidad de procesamiento de metano</td> <td>Mínimas en sistemas de oxidación. Para generación depende de la tecnología.</td> </tr> <tr> <td>Volumen de CO2e a producir</td> <td>Dependiendo de la tecnología, su operación produce emisiones de CO2 e</td> </tr> <tr> <td>Consumo de energía (gas o energía eléctrica)</td> <td>Calcular el consumo de energía de los equipo a instalar</td> </tr> <tr> <td>Consumo de agua</td> <td>variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas</td> </tr> </table>	Capacidad de procesamiento de aire	variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas ver Tabla 2	Capacidad de procesamiento de metano	Mínimas en sistemas de oxidación. Para generación depende de la tecnología.	Volumen de CO2e a producir	Dependiendo de la tecnología, su operación produce emisiones de CO2 e	Consumo de energía (gas o energía eléctrica)	Calcular el consumo de energía de los equipo a instalar	Consumo de agua	variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas
Capacidad de procesamiento de aire	variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas ver Tabla 2										
Capacidad de procesamiento de metano	Mínimas en sistemas de oxidación. Para generación depende de la tecnología.										
Volumen de CO2e a producir	Dependiendo de la tecnología, su operación produce emisiones de CO2 e										
Consumo de energía (gas o energía eléctrica)	Calcular el consumo de energía de los equipo a instalar										
Consumo de agua	variable dependiendo del tamaño de la operación y varía dependiendo de las necesidades operativas										
Operación y diseño del equipo y del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Colector VAM • Dispositivo de transporte VAM • Establecer una red de sistemas de monitoreo de la ventilación y demás sistemas de seguridad. 										
DISEÑO Y ADECUACIÓN DEL ÁREA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SOPORTE.											
Construcción de las instalaciones de soporte para la instalación de equipos	Movimientos de tierra, construcción de estructuras que no interrumpen el trabajo minero										
Adecuación de los boca vientos (évassé)	Este diseño se hará de acuerdo con las condiciones de seguridad establecidas para la instalación y operación de este tipo de equipos										
ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO											
Vida Útil Del Proyecto	La vida útil del proyecto VAM se define con base en la vida útil de la mina y lo descrito en el planeamiento minero										
Plan De Ventas Ingresos.	- Venta de energía o producción de energía para consumo interno. Plantear la creación de un mercado de bonos de metano Producción.										
Organización Administrativa Operativa	- Organigrama de la parte administrativa y operativa del proyecto										
Costos Diagnóstico	Evaluación de costos de pre factibilidad y factibilidad										
Costo Equipos	Costo de equipos Costo de transporte de equipos a Colombia desde el sitio de origen Costos de importación y nacionalización										

	Costos de transporte desde el puerto en Colombia al sitio de instalación
Adecuación de mina y terreno para instalación de equipos	Adecuación del sistema de ventilación y construcción de évassé. Estudio geotécnico, adecuación del terreno, diseño civil, estructural y arquitectónico de la construcción de soporte, diseño eléctrico y/o de gas. Diseño de los sistemas de distribución de agua o equipos de bombeo de ser necesarios
Costos de operación.	Relación de costos que deben salir del estudio de factibilidad del proyecto.
Costos de mantenimiento	
Costos financieros	
Tasas de descuento	
Amortizaciones	
Riesgos asociados al proyecto	

6.3. BIBLIOGRAFÍA

Programa de Alcance del Metano de Coalbed, Modelo de Flujo de Efectivo del Proyecto de Metano de la Mina de Carbón- Manual de Usuario, V3.EPA 2016 (<https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-07/documents/cmop-cmm-cash-flow-model-user-manual-2016.pdf>)

Ministerio de medio ambiente (<http://www.minambiente.gov.co/index.php/que-es-cambio-climatico/impacto-del-cambio-climatico-en-colombia>).

Ministerio de Medio Ambiente, Política nacional de cambio climático, (<http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc>).

Global Methane, Emisiones Mundiales de Metano y Oportunidades de Atenuación (https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_spa.pdf).

El Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en las minas de carbón subterráneas publicado por la organización internacional del trabajo (2006).

Universidad de Newcatle Australia, Una descripción técnica de la mitigación de VAM de las plataformas de tecnología de mitigación de VAM, 2012 (https://www.globalmethane.org/documents/events_coal_120904_moghtaderi.pdf).

Conferencia de Metano de la Mina de Carbón de los Estados Unidos 2009, Leyes y políticas de los estados unidos respecto a la captura del gas metálico (https://www.hollandhart.com/files/Capturing_Methane_Gas_White_Paper.pdf).

Revisión de políticas de cambio climático, Gobierno de Australia, Marzo 2017.

Los incentivos económicos y las externalidades como detonantes para mitigar los efectos del cambio climático, Luigi Iacobi Pontones Brito y Tannia Fernández Martínez. (http://www.ceja.org.mx/IMG/Los_incentivos_economicos.pdf).

Desarrollo de dos estudios de caso sobre captura y utilización de metano en minas en China. CSIRO Exploración y Minería, Enero de 2006

Decreto 1258 de 2017
http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1258_2013.htm

Ley 1753 de 2015. Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”. (http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1753_2015.html)

Ministerio de Medio Ambiente, Política nacional de cambio climático, (<http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc>).

Decreto 1886 de 2015, Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas. (<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=63072>)
https://cdm.unfccc.int/EB/035/eb35_repan07.pdf

7. PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN

La explotación de GAS METANO asociado a minería de carbón es una industria poco regulada por nuestras autoridades locales colombianas, razón por la cual es necesario acudir al marco regulatorio actualmente implementado en la legislación y documentos internacionales existentes. En virtud de los cuales, podemos hacer un análisis detallado para extraer eventuales propuestas de reglamentación de minas grisutuosas y de aprovechamiento de gas metano de los ductos de ventilación VAM que pudieran aplicarse en nuestro país, con base en las experiencias obtenidas en países donde ya se han implementado este tipo de tecnologías.

Para el desarrollo de esta propuesta, se analizó la reglamentación de países como EE. UU y México, los cuales han adquirido un conocimiento avanzado en la implementación de proyectos de oxidación y/o autogeneración de gas metano.

Adicionalmente, se analizará el Repertorio De Recomendaciones Prácticas Sobre Seguridad Y Salud En Las Minas De Carbón Subterráneas emitido por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), con el objetivo de evaluar y analizar su aplicabilidad en el escenario colombiano.

7.1. NORMAS Y REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL SOBRE MANEJO DE METANO EN MINAS GRISUTUOSAS

7.1.1. Estados Unidos de América

La regulación aplicada a las minas grisutuosas en Estados Unidos está amparada bajo La Ley Federal de Seguridad y Salud en las Minas de 1977 y la Ley de Mejoramiento de Minas y de Respuesta de Emergencias de 2006 (conocida en inglés el MINER Act), y el Título 30 del Código de Regulaciones Federales (30 CFR por sus siglas en inglés), los cuales otorgan una variedad de derechos y responsabilidades para individuos que son empleados como mineros.

En Estados Unidos no existe una reglamentación especial con relación a la implementación de proyectos VAM, sin embargo, la Administración de Seguridad y Salud en Minas (MSHA) ha dispuesto que las resoluciones finales queden en manos de las oficinas regionales para determinar y asegurar que la ejecución de proyectos VAM cumpla con todas las normas de seguridad minera. (Comunicación telefónica Raymond Pilcher – Raven Ridge Resources incorporated).

El Título 30 referente a los recursos minerales contiene 199 partes publicadas por la Oficina del Registro Federal de Archivos Nacionales y Administración de

Registros como Edición Especial del Registro Federal. El título 30 se compone de tres volúmenes: partes 1-199, partes 200-699 y parte 700 hasta el final.

El título 30 en su parte inicial hace referencia a las autoridades y organismos verificadores, donde es claro que la agencia de administración de minas MSHA del departamento de trabajo de Estados Unidos es la encargada de promover el reglamento para trabajos en minería.

Dentro de sus funciones esta la cooperación en la reducción de lesiones, enfermedades y muertes empleando una variedad de actividades y programas. La agencia desarrolla y promueve las reglas de seguridad aplicables a minería, además, ofrece seguimiento, asistencia técnica y capacitación según lo requieran los operadores mineros.

El SUBCAPITULO O del Título 30, parte 70, se refiere a las normas de salud obligatorias en minas de carbón subterráneas y la sub-parte D se refiere a las normas y procedimientos que se deben tener en cuenta para la ventilación de las minas.

En el anexo 1 compila la sub-parte D del Título 30 en lo referente a gas metano, sistemas de ventilación, minas grisutuosas, esta selección no rechaza ni desvirtúa los demás títulos de la ley, sin embargo, se centra en establecer una base de conocimiento y aplicabilidad a las condiciones de las minas de carbón colombianas.

7.1.2. México

La Norma Oficial Mexicana NOM-032-STPS-2008, Seguridad para minas subterráneas de carbón, establece la reglamentación de minas grisutuosas y de aprovechamiento de gas metano con el objetivo de prevenir y mitigar los riesgos a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores vinculados a la industria minera.

El documento está integrado por 21 numerales que definen los lineamientos de diseño, señalización y seguridad al interior de las minas subterráneas, de los cuales se destaca el numeral 8, VENTILACIÓN, donde se dispone de:

- Las obligaciones y estudios que debe realizar el titular minero en materia de ventilación.
- Las características y contenido del sistema de ventilación.
- Orientación acerca del plan general de ventilación.
- Contenido en los planos de ventilación.

- Aspectos que debe tener en cuenta durante las mediciones de aforos y concentración de metano al interior de la mina.
- Aspectos que debe tener en cuenta cuando se realiza el mantenimiento de los ventiladores principales y auxiliares, entre otras recomendaciones.

El numeral 9 de la norma, abarca los requerimientos y recomendaciones con relación a la correcta ubicación e identificación de los equipos que componen las **INSTALACIONES ELECTRICAS**, tales como los transformadores, circuitos eléctricos de comunicación, celdas de distribución, generadores de emergencia, entre otros dispositivos que son vitales para la seguridad al interior de las minas durante la operación extractiva en simultáneo con la ejecución del proyecto de oxidación VAM.

Así mismo el numeral 15 hace referencia a **INUNDACIONES** en procura de prevenir los riesgos de inundación, ya que para el caso que nos compete, el agua actuaría como “tapón” impidiendo la salida de los gases, lo que traería riesgos para la operación del sistema de oxidación o autogeneración VAM.

En el anexo 1 se hace un compilado de la Norma Oficial Mexicana NOM-032-STPS-2008, Seguridad para minas subterráneas de carbón con relación a gas metano, sistemas de ventilación, minas grisutuosas, electricidad e inundaciones. Esta selección no rechaza ni desvirtúa los demás títulos de la norma, sin embargo, se centra en establecer una base de conocimiento y aplicabilidad a las condiciones de las minas de carbón colombianas.

7.1.3. Organización Internacional de Trabajo (OIT)

La OIT público el Repertorio De Recomendaciones Practicas Sobre Seguridad En Las Minas De Carbón con el fin de proporcionar orientación, de conformidad con lo estipulado en la legislación nacional, a los que debe formular disposiciones semejantes, o elaborar programas de prevención y protección a escala nacional o de empresa.

Dichas recomendaciones están destinadas, en particular, a los gobiernos y a las autoridades, a los empleadores, a los trabajadores y sus organizaciones, y también a la dirección y a los comités de seguridad y salud.

El repertorio se basa en los principios enunciados en los instrumentos internacionales relacionados con la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores. Los dos primeros capítulos abarcan los objetivos y el ámbito de aplicación.

Los dos capítulos siguientes abordan, en el marco nacional, las responsabilidades, obligaciones y derechos de la autoridad competente, la inspección del trabajo, los

empleadores, los trabajadores y sus organizaciones, los proveedores, fabricantes y diseñadores, y los contratistas, así como los sistemas y servicios de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo (SST), y la notificación a este respecto.

La segunda parte aborda las diferentes operaciones habituales en la producción de carbón en las minas subterráneas, desde las realizadas en los hornos de coque hasta las que se realizan en los altos hornos y fundiciones, los trenes de laminación, los revestimientos y el reciclado. Abarca también el transporte, la formación y las competencias profesionales, el equipo de protección personal, la preparación para las situaciones de emergencia, y cuestiones relativas a la protección especial y la higiene. Cada sección incluye una descripción de los peligros y una evaluación de los riesgos, y proporciona además orientación para eliminar y controlar dichos riesgos.

En el anexo 1 se hace un compilado de las recomendaciones del Repertorio de Recomendaciones Prácticas Sobre Seguridad En Las Minas De Carbón, en materia de seguridad para minas subterráneas de carbón en lo referente a gas metano, sistemas de ventilación, minas grisútuosas, electricidad e inundaciones que pueden aplicar en nuestro estudio. Esta selección no rechaza ni desvirtúa los demás títulos del repertorio, sin embargo, se centra en establecer una base de conocimiento y aplicabilidad a las condiciones de las minas de carbón colombianas

7.1.4. Comparación Normas Internacionales Con La Norma Colombiana

La norma colombiana reglamenta el manejo de minas grisútuosas y aprovechamiento de gas metano es el decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015. Este decreto está compuesto por 13 títulos y cada título está compuesto por capítulos donde se tratan los temas sobre seguridad y salud en el trabajo.

El título I, ASPECTOS GENERALES, está compuesto por capítulos que abarcan las generalidades con relación a los siguientes temas: definiciones, responsabilidades, autoridad competente, registros y planos, medicina preventiva e investigación de accidentes.

El título II, VENTILACIÓN contiene los capítulos que tratan las disposiciones comunes a las labores subterráneas y generales para minas grisútuosas.

El título VII, INSTALACIONES ELÉCTRICAS, los capítulos tratan la construcción, operación y mantenimiento, y subestaciones eléctricas bajo tierra.

El título XI, DESAGUE y sus capítulos cubren el tema de aguas superficiales y subterráneas.

A continuación, se realiza un comparativo de las normas internacionales estudiadas (Anexo1) con la normatividad colombiana sobre los temas que se deben tener en

cuenta para la instalación, operación y puesta en marcha de un proyecto de oxidación y autogeneración de gas metano en minas subterráneas de carbón.

COMPARATIVO NORMAS INTERNACIONALES CON NORMAS COLOMBIANAS							
MÉXICO		OIT		EE. UU		COLOMBIA	
NOM-032-STPS-2008		Repertorio De Recomendaciones Prácticas Sobre Seguridad En Las Minas De Carbón		MSHA		DECRETO 1886/2015	
NUM.	CONTENIDO	NUM.	CONTENIDO	NUM.	CONTENIDO	ART.	CONTENIDO
5.2	Se debe contar con un plan de atención de emergencias por escrito y a disposición de los trabajadores, que al menos contenga: emergencias en minas susceptibles de desprendimientos de gas metano	16.2.1	La legislación nacional debería exigir a los explotadores de minas que cada mina tenga un Plan de prevención de incendios e intervención en casos de emergencia	751.500	Emergencias mineras	Artículo 29	Plan de emergencia
8	VENTILACIÓN diseño de ventilación para minas nuevas						
8.1	Sistemas de ventilación			75.370	Plan de ventilación de la mina; presentación y aprobación		
8.1.1	Plan de Ventilación	12.2.1	La legislación nacional debería exigir que el explotador de la mina preparara y aplicara un plan de ventilación con los consiguientes procedimientos para garantizar un sistema de trabajo seguro y que proteja a los trabajadores.	75.370	Plan de ventilación de la mina; presentación y aprobación	Artículo 35	Plan de ventilación
8.1.2	Planos del sistema de ventilación	12.1	Plano del sistema de ventilación	75.372	Mapa de ventilación de minas	Artículo 40	Circuito de ventilación Forzada
8.1.3	Condiciones de seguridad para ventiladores principal y secundarios	12.5	Ventiladores principales	75.310	Instalación de los ventiladores principales de la mina.	Artículo 61	Ventilación en minas grisutuosas

COMPARATIVO NORMAS INTERNACIONALES CON NORMAS COLOMBIANAS							
MÉXICO		OIT		EE. UU		COLOMBIA	
NOM-032-STPS-2008		Repertorio De Recomendaciones Prácticas Sobre Seguridad En Las Minas De Carbón		MSHA		DECRETO 1886/2015	
8.1.4	Medidas de seguridad para cuando se rebasan los límites de concentraciones de gas metano	12.9	Medidas y evacuación de personas que corren peligro en una mina o parte de ella a causa del metano	74.323	Acciones por metano por excesivo.	Artículo 53 - Artículo 61	Suspensión de labores por concentración de metano-ventilación en minas grisutuosas
8.1.5	Acciones para desarrollar en caso de paro del ventilador principal	12.5	Ventiladores principales	75311 - 75-313-75.312	Funcionamiento del ventilador principal de la mina- Interrupción del ventilador principal de la mina con personas bajo tierra- Exámenes y registros	Artículo 45	Suspensión de la ventilación
8.1.6	Acciones para el restablecimiento de la ventilación de la mina	12.5	Ventiladores principales			Artículo 45	Suspensión de la ventilación
8.1.7 - 8.1.9	Procedimientos, acciones e instrucciones de seguridad para trabajos de mantenimiento y operación de ventiladores principal y secundarios	12.3	Modificación de la ventilación	75.324	Cambios intencionales en el sistema de ventilación.		
8.1.10	Condiciones de seguridad para el control del volumen de aire	12.8	Aforo de la corriente de ventilación y determinación del contenido de metano	75.325	Cantidad de aire	Artículo 54	Cálculo del volumen mínimo de aire

COMPARATIVO NORMAS INTERNACIONALES CON NORMAS COLOMBIANAS							
MÉXICO		OIT		EE. UU		COLOMBIA	
NOM-032-STPS-2008		Repertorio De Recomendaciones Prácticas Sobre Seguridad En Las Minas De Carbón		MSHA		DECRETO 1886/2015	
8.1.11	Procedimientos de seguridad para realizar mediciones en el sistema de ventilación	12.8	Aforo de la corriente de ventilación y determinación del contenido de metano	75.325	Cantidad de aire		
8.1.12	Requisitos de seguridad para las obras de ventilación	12.1	Disposiciones generales	27.21-75.334-75.342	Áreas trabajadas y áreas donde se están recuperando pilares- Monitores de metano		
8.1.13	Requerimientos para realizar mediciones a la atmosfera de la mina	12.12	Sistemas de control atmosférico de toda la mina	75.351	Sistemas de monitoreo atmosférico.	Artículo 46 - Artículo 60	Equipos de medición de gases- medición de concentraciones de metano
11.25	Preparación y atención de emergencias por explosión	16	Plan de prevención e intervención en casos de emergencia	751.500	Emergencias mineras		
12	Desprendimientos instantáneos de gas metano	12.10	Desprendimientos de carbón y escapes repentinos de metano y otros gases nocivos			Artículo 63	Análisis de riesgo
12.5	Actividades de extracción de gas hacia el exterior	12.3	Captación del metano			Artículo 59	Extracción del gas metano
15 - 15.1	Inundaciones- estudios hidrogeológico	17.2.1.3	El titular debe obtener información y realizar estudios de sondeos, perforaciones, análisis de capas etc.				
15.3	Medidas de prevención y control de riesgo	17.2.1.4	Elaborar plan de trabajo destinado a prevenir cualquier irrupción de agua o gases				

COMPARATIVO NORMAS INTERNACIONALES CON NORMAS COLOMBIANAS							
MÉXICO		OIT		EE. UU		COLOMBIA	
NOM-032-STPS-2008		Repertorio De Recomendaciones Prácticas Sobre Seguridad En Las Minas De Carbón		MSHA		DECRETO 1886/2015	
15.6	Consideraciones a tener en cuenta en áreas con minados antiguos.	17.2.1.1	Elaborar plan cuando se realizan actividades mineras cerca de viejas explotaciones				
9-9.1	Instalaciones eléctricas-planos			75.340	Instalaciones eléctricas subterráneas		
9.2	Diagrama Unifilar						
		18.2.1.5	Aplicación de plan eléctrico				
9.3	Personal encargado de las instalaciones eléctricas	18.2.1.3	Personal encargado de la electricidad en las minas	75.340	Instalaciones eléctricas subterráneas	Artículo 172	Responsables de los trabajos en actividades eléctricas
9.4	Condiciones de seguridad para tema eléctrico	18.2.1.6 a 18.2.1.11	Condiciones de seguridad	75.340	Instalaciones eléctricas subterráneas	artículo 176	Análisis de riesgos previo a la realización de trabajos
		18.3.3	Protección contra sobrecarga y cortocircuitos	75.340	Instalaciones eléctricas subterráneas		
		18.4	Precauciones adicionales contra explosiones de metano o de polvo de carbón				

7.2. PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN PARA MINAS GRISUTUOSAS Y DE APROVECHAMIENTO DE GAS METANO DE LOS DUCTOS DE VENTILACIÓN VAM.

Según el análisis comparativo que se realizó de las normas internacionales y su aplicabilidad a las condiciones de la minería subterránea de carbón en Colombia, se puede observar que para un adecuado control y operación de los equipos de oxidación o autogeneración; a la norma Colombiana (Decreto 1886/2015) le hace falta ser más explícito en las normas de seguridad, en los planes y procedimientos que se propone en el decreto, ya que al implementar este tipo de tecnología se debe ser muy riguroso y estricto en la toma de datos y en el control de registros,

Una vez realizado el análisis y la comparación de las normas internacionales con la normatividad colombiana, se propone anexar algunos apartados a los artículos ya existentes en la normatividad colombiana y en otros casos incluir nuevas medidas para tener en cuenta. (ver cuadro 1)

A continuación, se presenta la propuesta de reglamentación para el manejo de minas grisutuosas para la instalación, operación y puesta en marcha de un proyecto de oxidación o autogeneración VAM:

7.2.1. Decreto 1886- 2015

7.2.1.1. NORMA: TITULO II, ARTÍCULO 29

Toda empresa que realice labores mineras subterráneas debe elaborar un Plan de Emergencias conforme a lo establecido en el numeral 18 del artículo 11 de la Resolución 1016 de 1989 de los Ministerios de Trabajo y Seguridad Social y de Salud, o las normas que la modifiquen, adicionen o sustituyan, considerando además los siguientes aspectos:

- 1) Tipo de emergencia o análisis de vulnerabilidad;
- 2) Señalización interna de la mina e indicación de las vías de escape y refugios;
- 3) Sistemas de alarma y comunicaciones;
- 4) Instrucción del personal;
- 5) Simulacros y funcionamiento de brigadas de rescate;
- 6) Puntos de activación de sistemas de alarma sonora y lumínica; y,
- 7) Planes operativos normalizados en evacuación, incendio, sismo, fuga de gases, explosión, rescate, humos al interior de la mina, incendio forestal, evacuación de lesionados y de las demás amenazas identificadas en el análisis de vulnerabilidad de la mina;

PROPUESTA:

Si bien el decreto tiene en cuenta el plan de emergencias según la resolución 1016/89, y adicional a esto, se consideran según los resultados arrojados del análisis de vulnerabilidad, realizar planes operativos en evacuación, incendios, fuga de gases o explosión, no tiene un artículo que sea específico donde se dé indicaciones acerca del contenido que debe tener el plan, discriminando su aplicabilidad en minas débilmente grisutuosas y fuertemente grisutuosas (artículo 58), por lo tanto se propone lo siguiente:

- Ajustar el artículo 29 y proponer en el Título II Capítulo II (Disposiciones especiales para minas grisutuosas) que, en las minas consideradas débilmente grisutuosas y fuertemente grisutuosas se deba realizar un plan de emergencias para las minas susceptibles a desprendimientos de gas metano, y donde se especifique al menos la siguiente información y acciones a desarrollar:
 - ✓ Ubicación de las máquinas de perforación.
 - ✓ Ubicación de tuberías y válvulas que indiquen la dirección del flujo de aire
 - ✓ Ubicación de bombas de desgaseamiento.
 - ✓ Ubicación de los equipos de monitoreo de gas metano y su registro
 - ✓ La descripción general del sistema de alarma
 - ✓ La ubicación y descripción de otros medios de comunicación para la transmisión de mensajes de advertencia a otros lugares de trabajo que puedan correr peligro a raíz de un escape de gas metano en una zona determinada
 - ✓ Los tipos de primeros auxilios inmediatos que deben brindarse a los accidentados
 - ✓ Los mecanismos de transporte y evacuación de los heridos
 - ✓ Los procedimientos para responder a la emergencia
 - ✓ Los medios para rescatar a las personas accidentadas o atrapadas
 - ✓ Los procedimientos de evacuación
 - ✓ La planeación y coordinación de la intervención de los servicios de emergencia ajenos al centro de trabajo
 - ✓ La descripción del equipo y materiales para controlar la emergencia.
- Se propone anexar al Título II, Ventilación, un artículo donde se especifique los ítems que debe tener el sistema de ventilación y sea una guía tanto para el titular como para la autoridad, la cual debería contener como mínimo:
 - ✓ Un plan general de ventilación
 - ✓ Los planos del sistema de ventilación
 - ✓ Las condiciones de seguridad para los ventiladores exteriores - principal y secundario
 - ✓ Las medidas de seguridad para cuando se rebasan los límites de concentraciones de gas metano

- ✓ Acciones por desarrollar en caso de paro del ventilador principal
- ✓ Las acciones para el restablecimiento de la ventilación de la mina
- ✓ Los procedimientos, instrucciones y otras acciones de seguridad para trabajos de mantenimiento y operación en los abanicos principal y secundario.
- ✓ Las condiciones de seguridad para los ventiladores auxiliares
- ✓ Las condiciones de seguridad para el control del volumen de aire
- ✓ Los procedimientos de seguridad para realizar mediciones en el sistema de ventilación
- ✓ Los requisitos de seguridad para las obras de ventilación
- ✓ Los requerimientos para realizar mediciones a la atmósfera de la mina

7.2.1.2. NORMA – TITULO II, ARTICULO 35 PLAN DE VENTILACIÓN.

Toda labor minera subterránea debe tener un plan de ventilación en un término de seis (6) meses, contados a partir de la publicación del presente reglamento, el cual debe contener como mínimo:

1. Nombre de la mina o labor subterránea, nombre de la empresa y nombre de la persona responsable del plan de ventilación
2. Persona o personas autorizadas para supervisar las siguientes actividades: inertización de la mina cuando sea el caso, suspensión de la ventilación, mantenimiento, reparación, actividades de prevención y las actividades contempladas en el artículo 45 y el parágrafo 4 del artículo 46 del presente Decreto;
3. Las ubicaciones en plano y las condiciones operativas de los ventiladores;
4. La ubicación de los puntos de aforo donde se realizarán las mediciones de material particulado, gases explosivos y tóxicos, temperatura y de caudal de aire;
5. La ubicación de los dispositivos de ventilación, tales como reguladores o puertas reguladoras y conectares utilizados para controlar el movimiento del aire con áreas explotadas;
6. La ubicación y la secuencia de la construcción de los sellos propuestos para cada área;
7. La ubicación de ventiladores auxiliares cuando se requiere una cantidad mínima de aire en un frente de trabajo;
8. El nivel ambiente en partes por millón de monóxido de carbono, oxígeno y metano, en todos los puntos donde se realice monitoreo continuo;
9. Protocolo de mantenimiento de los ventiladores; y,
10. Registro de las capacitaciones realizadas al personal minero relacionadas con el tema de ventilación.

PROPUESTA

Adicional a lo anterior, se propone anexar y especificar los siguientes elementos al plan de ventilación:

- ✓ Descripción y ubicación del tipo de ventilación a usarse, según sea el caso (labores de desarrollo, frentes, etc.).
- ✓ Características específicas de los ventiladores principales y secundarios.
- ✓ Características específicas de los ductos de ventilación
- ✓ Las dimensiones de las vías
- ✓ La sección y número de entradas a la mina
- ✓ Instalación de las puertas principales, reguladores del aire, zonas tabicadas, sistemas de captación del metano, cada ventilador principal y ventilador auxiliar o de intensificación de la corriente, estaciones de aforo, controles de ventilación que separan corrientes de aire y cruces de ventilación.
- ✓ La ubicación y la cantidad de aire de todos los puestos de trabajo y los frentes de arranque de carbón.
- ✓ Los lugares donde se tomarán muestras de polvo respirable y la ubicación de los consiguientes dispositivos, así como las medidas de control de dicho polvo utilizadas en las fuentes generadoras de polvo de esos lugares
- ✓ Los sistemas de control del polvo y el metano en descargas, puntos de transferencia y vías de transporte
- ✓ En minas con antecedentes de combustión espontánea: una descripción de las medidas que se tomarán para detectar concentraciones de metano, monóxido de carbono y oxígeno durante la preparación de frentes, así como en zonas ya explotadas no se hayan recuperado y las medidas que se tomarán para proteger a los trabajadores de los peligros asociados con la combustión espontánea.
- ✓ Si se utilizan sistemas de drenaje de metano, un croquis detallado de cada sistema, que incluya una descripción de las precauciones de seguridad utilizadas con los sistemas.
- ✓ Ubicación de las salidas de emergencia.
- ✓ Proyecciones para al menos 12 meses de desarrollo anticipado de la mina, controles de ventilación propuestos, sistemas de purga propuestos, y la ubicación anticipada de cursos de aire de ida y vuelta, entradas de cinturones y vías de escape.
- ✓ Y firma y aprobación de la persona encargada de la ventilación.

7.2.1.3. NORMA – TITULO II- ARTÍCULO 41. ENCARGADO DE LA SUPERVISIÓN DE LA VENTILACIÓN.

El responsable técnico de la labor minera subterránea debe nombrar en cada turno de trabajo, un encargado de la supervisión de la ventilación en todas las labores, quien deberá estar capacitado para tal efecto.

PROPUESTA

Teniendo en cuenta que para la implementación del proyecto se deben realizar mediciones, llevar registros y hacer cálculos, se propone hacer una modificación al artículo anterior y que quede de la siguiente manera:

ARTICULO 41 PERSONA A CARGO DE LA VENTILACIÓN.

En la mina debe haber un departamento técnico de ventilación el cual debe estar dirigido por un ingeniero de minas, ingeniero de minas y metalurgia, tecnólogo certificado por competencias en ventilación (SENA) o por un especialista certificado en ventilación de labores subterráneas con experiencia certificada de mínimo dos años para tal efecto, quienes con su equipo de trabajo serán los encargados y responsables de:

- ✓ Realizar el diseño del circuito de ventilación.
- ✓ Realizar el plan de mantenimiento de los ventiladores.
- ✓ Dirigir y supervisar las modificaciones al sistema de ventilación
- ✓ Dirigir y supervisar el mantenimiento de los ventiladores principales y secundarios.
- ✓ Realizar las inspecciones diarias a los ventiladores y dispositivos de seguridad
- ✓ Evaluar y realizar un informe sobre los diseños y detalles cuando por estudios de mediciones considere la opción de instalar o cambiar un ventilador, en el informe debe especificarse el tipo de ventilador, tamaño, ubicación, volumen de aire, etc.
- ✓ Realizar las mediciones de aforos de la mina, deben determinas los lugares para realizar estas mediciones.
- ✓ Disponer de una persona en superficie debidamente capacitada que se encargue de controlar y responder rápidamente a todas las señales del sistema de monitoreo continuo de metano y ventiladores.
- ✓ Llevar y mantener al día los registros de todas las actividades de seguimiento, mantenimiento, inspecciones, diseños, aforos, mediciones de gases con los respectivos planos, por lo menos durante un año en medio físico o electrónico.
- ✓ La demás que se consideren pertinentes.
- ✓ Todos los procedimientos deben llevar firma del director del departamento de ventilación el cual es el principal responsable.

7.2.1.4. NORMA TITULO II -ARTÍCULO 43. MANTENIMIENTO DE VÍAS DE VENTILACIÓN.

Las vías de ventilación deben someterse a mantenimiento preventivo, para evitar posibles obstrucciones que puedan interrumpir el flujo normal del aire y serán accesibles al personal. Parágrafo: Los ventiladores, puertas de regulación de caudales, medidores, sistemas de control y otros, deben estar sujetos a un riguroso plan de mantenimiento, del cual se llevarán los respectivos registros.

PROPUESTA

Para la implementación de un proyecto VAM de los ductos de ventilación se deben tener unas condiciones óptimas de las vías que no generen resistencia al aire para fluir, así mismo los ventiladores deben estar sujetos a un riguroso mantenimiento con el fin de no tener paradas no programadas que puedan afectar el funcionamiento de los equipos de oxidación, por lo tanto, se propone disponer UN ARTÍCULO nuevo dentro del decreto referente a VENTILADORES PRINCIPALES. A continuación, se da el contenido de lo que se plantea anexarle al decreto:

- a) Los ventiladores principales de la mina deberán funcionar continuamente, salvo que se apruebe lo contrario en el plan de ventilación, o cuando se detengan intencionalmente para probar puertas de cierre automático y dispositivos automáticos de señalización del ventilador, mantenimiento o ajuste del ventilador, o para realizar trabajos de mantenimiento o reparación subterráneos que no puedan realizarse de otra manera mientras el ventilador esté en funcionamiento.
- b) Debe estar ubicado en superficie y la estructura donde se instale debe construirse en materiales incombustibles.
- c) El ventilador principal debe contar al menos con lo siguiente:
 - Un instrumento de monitoreo continuo del gas metano en el área de descarga.
 - Un instrumento de medición de temperatura en las chumaceras.
 - Un instrumento de medición de vibraciones en las chumaceras.
 - Un sistema automático para el corte de energía al interior de la mina, cuando los porcentajes de gas metano sean iguales o mayores a 1.5% en la descarga del ventilador principal
 - Un instrumento de medición de la presión del ventilador con graficador continuo.
 - Puertas incombustibles, que en caso de que el ventilador se detenga, se cierren automáticamente para evitar cualquier inversión del VAM.

- Una alarma audible y visible para indicar paro, desperfectos, enlentecimiento o interrupción imprevista, aumento o pérdida de presión, deficiencia eléctrica o mecánica del ventilador, Una persona responsable del departamento de ventilación deberá estar siempre en una ubicación de superficie en la mina donde la señal pueda ser vista o escuchada mientras cualquiera se encuentre bajo tierra. A esta persona se le facilitará una comunicación bidireccional con las secciones de trabajo y los puestos de trabajo para dar las respectivas indicaciones.
- d) Si se utiliza energía eléctrica para el funcionamiento del ventilador, esta fuente debe ser independiente de todos los circuitos eléctricos de la mina
- e) Para asegurar la confiabilidad eléctrica y mecánica de los ventiladores principales de la mina, cada ventilador principal y sus componentes asociados, incluyendo dispositivos para medir o registrar la presión de ventilación, serán examinados para su correcto funcionamiento por una persona capacitada designada por el operador. Las inspecciones de los ventiladores principales se harán al menos una vez cada día, verificando el correcto funcionamiento del ventilador, a menos que se utilice un sistema de monitoreo del ventilador.
- f) Al menos cada 31 días, el dispositivo automático de señalización de cada ventilador principal de la mina será probado deteniendo intencionalmente el ventilador. Sólo las personas necesarias deben estar bajo tierra para evaluar el efecto de la parada del ventilador o el reinicio, o para realizar trabajos de mantenimiento o reparación que no puedan realizarse mientras el ventilador está en funcionamiento.
- g) Se suspenderá la energía eléctrica a todas las áreas que sean afectadas cuando se realice una modificación a los circuitos de ventilación.
- h) Los registros se llevarán en un libro físico seguro o en forma digital en un sistema informático que no sea susceptible de alteración.

7.2.1.5. NORMA TITULO II- ARTÍCULO 44. ÁREAS DE TRABAJO ABANDONADAS.

Las áreas de trabajo antiguas o abandonadas que no estén ventiladas deberán ser aisladas herméticamente del circuito de ventilación y señalizadas para evitar el tránsito de personal.

PROPUESTA

Para la efectiva operación de un proyecto VAM, de los ductos de ventilación se debe tener un control en las áreas abandonadas para evitar que el gas metano se escape por estas zonas por lo que se propone realizar el siguiente ajuste:

- ✓ Cada sistema de explotación minera se diseñará de manera que cada zona trabajada pueda sellarse.
- ✓ Lo cerramientos deben ser construidos en materiales incombustibles, como concreto, piedra o bloque de espesor mínimo de 1 metro con suficiente resistencia para evitar fugas de aire y con suficiente resistencia para soportar presiones. Esta resistencia será estimada con base en un estudio local de mecánica de rocas. Adicionalmente, debe contar con tubos que permitan el muestreo de gases y debe colocarse tubería de diámetro apropiado para el desagüe en caso de ser necesario.

7.2.1.6. NORMA TITULO II- ARTÍCULO 47. SISTEMA DE MONITOREO PERMANENTE.

Las labores mineras subterráneas de carbón de la Categoría III establecidas en el artículo 58 de este Reglamento, además de contar con el equipo o equipos de medición, deben implementar un sistema de monitoreo permanente y continuo de metano y oxígeno, en las vías principales de transporte y ventilación, en:

1. Los frentes de avance y de explotación;
2. Los trabajos comunicados con el circuito de ventilación de la mina; y,
3. Las vías de circulación de personal.

PROPUESTA

Para tener un mejor control del gas metano en la mina, en este apartado se propone anexar y especificar lo siguiente:

- El sistema de monitoreo permanente debe incluir el control del monóxido de carbono (CO), calor o humo, Metano (CH₄), Dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂), presión y velocidad y/o dirección de la ventilación.
- El sistema de monitoreo que se utilice debe comprender:
 - a) Control permanente de la atmósfera de la mina en los lugares estipulados en el artículo 47 del decreto 1886/2015 para detectar la presencia de metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), calor o humo, dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂), así como los cambios de ventilación.
 - b) Detección o cálculo automático de los valores y tendencias de:
 - ✓ Concentraciones de gas;
 - ✓ Proporción de monóxido de carbono, respecto al oxígeno;
 - ✓ Proporción de monóxido de carbono respecto al dióxido de carbono;
 - ✓ Explosividad del gas;
 - ✓ Cambios anómalos en la presión, la velocidad o dirección de la ventilación;
 - c) Activación automática de la alarma si supera el porcentaje límite de gas
 - d) Registro de los valores y tendencias indicados en el inciso b).

- e) Acopio de la información en la que se basaron los valores y tendencias de la mina, indicados en el inciso d), para facilitar el acceso y la inspección de esa información.
- Cada sistema de monitoreo debe disponer de un suministro de electricidad alterno para garantizar su funcionamiento continuo en caso de un desperfecto en el suministro habitual de electricidad, y su diseño debe ser intrínsecamente seguro para que siga funcionando si falla la ventilación de la mina.
 - El titular de la mina debe:
 - a) Designar un operador del sistema de monitoreo, que haya recibido la debida capacitación, quien estará a cargo de controlar y responder rápidamente a todas las señales del sistema;
 - b) Trazar, mantener al día y colocar un mapa o esquema en el lugar designado de la superficie donde se muestre claramente la ubicación y el tipo de detectores del sistema de monitoreo en cada lugar y la dirección prevista del flujo de aire en esos lugares
 - El sistema debería dar automáticamente señales fácilmente visibles y audibles en todos los sectores y secciones de trabajo afectado y en todas las zonas afectadas cuando el monóxido de carbono, calor, humo, metano, dióxido de carbono, oxígeno, o bien, presión, velocidad o dirección de la ventilación en cualquier detector lleguen al nivel de alerta estipulados. Las señales relativas al metano deberían ser distintas de las demás.

7.2.1.7. NORMA TITULO II- ARTÍCULO 54. CÁLCULO DEL VOLUMEN MÍNIMO DE AIRE.

El volumen mínimo de aire que debe circular en cada labor subterránea tiene que calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de ésta sobre el nivel del mar, los gases o vapores nocivos, los gases explosivos e inflamables y los gases producto de las voladuras, de acuerdo con los siguientes parámetros:

1. Excavaciones minerales hasta mil quinientos metros (1.500 m) sobre el nivel del mar: tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min) por cada trabajador; y,
2. Excavaciones mineras de mil quinientos metros (1.500 m) en adelante sobre el nivel del mar: seis metros cúbicos por minuto (6 m³/min) por cada trabajador.

Parágrafo 1. Las cantidades mínimas de aire a que se refiere el presente artículo deben ser incrementadas de acuerdo con la calidad y cantidad de los agentes nocivos presentes en la atmósfera, con el propósito de mantener unas condiciones de saneamiento adecuadas.

Parágrafo 2. En las labores mineras subterráneas donde haya tránsito de maquinaria Diesel (Locomotoras, transcargadores, entre otros), debe haber el

siguiente volumen de aire por contenido de Monóxido de Carbono (CO) en los gases del exosto:

1. Seis metros cúbicos por minuto por cada caballo de fuerza (H.P). (6 m³/min/hp) de la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono en los gases del exosto no sea superior de cero coma doce por ciento (0,12%); o mil doscientas (1.200) partes por millón ppm; y,
2. Cuatro metros cúbicos por minuto por cada H.P. (4 m³/min/hp) de la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exosto no sea superior de cero coma cero ocho por ciento (0,08%), u ochocientas (800) partes por millón ppm.

7.2.1.8. NORMA TITULO II- ARTÍCULO 56. VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES DE AIRE.

La velocidad media de una corriente de aire en minas de carbón, en el área máxima libre, no debe tener valores inferiores a los siguientes:

1. Excavaciones mineras con ventilación principal (Primaria):
 - ✓ Vías con locomotora Trolley: Un metro por segundo (1m/s);
 - ✓ Vías de explotación (galería o sobre-guía): cero coma cinco metros por segundo (0,5 m/s);
2. Excavaciones mineras con ventilación auxiliar (Secundaria):
 - ✓ Vías en carbón: cero coma tres metros por segundo (0,3 m/s);
 - ✓ Tambores, pozos o inclinados con avance hacia arriba: cero coma cinco metros por segundo (0,5 m/s);
 - ✓ Bajadas, pozos o inclinados con avance hacia abajo: cero coma dos metros por segundo (0,2 m/s); y,
 - ✓ Vías en roca: cero coma dos metros por segundo (0,2 m/s);
3. A una distancia de treinta metros (30) detrás del sitio donde se encuentra laborando el personal de un frente ciego, debe existir una velocidad mínima de diez metros por minuto (10 m/min). Lo anterior rige para frentes de recuperación, preparación y desarrollo en minas de carbón.

Parágrafo 1. La velocidad de una corriente de aire no debe exceder seis metros por segundo (6 m/s); lo anterior no rige para tambores, bajadas, inclinados, canales de ventilación, pozos o vías que no sirven para el tránsito normal de personal;

Parágrafo 2. La velocidad de la corriente de aire en tajos de explotación de carbón no debe sobrepasar de cuatro coma cinco metros por segundo (4,5 m/s).

7.2.1.9. NORMA TITULO II- ARTÍCULO 57. VERIFICACIÓN DE CAUDALES DE VENTILACIÓN.

Los caudales de ventilación que circulen en todas las vías de la labor minera subterránea deben verificarse cada semana, o con una mayor frecuencia si el responsable técnico de la misma así lo determina; estas mediciones deben anotarse en el plano de ventilación, tableros y registros a que se ha hecho referencia en el presente Reglamento

PROPUESTA

En este apartado se propone anexar las siguientes recomendaciones por tener en cuenta para las **MEDICIONES AL SISTEMA DE VENTILACION:**

- En concordancia con el artículo 57 del decreto 1886/2015 las mediciones al sistema de ventilación deben realizarse una vez por semana y se deben llevar los respectivos registros físicos o electrónicos y guardarlos mínimo por un año.
- Se deben registrar al menos los siguientes datos:
 - a) Lugar y su área en m²
 - b) Volumen
 - c) Velocidad
 - d) Temperatura
 - e) Humedad relativa
 - f) % de O₂
 - g) % de gas metano CH₄
 - h) Emisión de gas en litros por segundo.
- Las mediciones deben ser firmadas por el responsable de ventilación.
- Al detectar anomalías en los volúmenes de aire, se proceda a la detección de la causa y de inmediato se corrija, y se registren las acciones ejecutadas para volver a las condiciones normales y, en su caso, prevenir su repetición.
- los datos registrados se deben transcribir al plano de ventilación, el cual debe estar actualizado mensualmente, o antes si se efectúan cambios importantes en los circuitos de ventilación

7.2.1.10. NORMA TITULO II-ARTÍCULO 59. EXTRACCIÓN DEL GAS METANO.

En aquellos casos que el titular minero compruebe que en el área concesionada donde adelantará su proyecto minero de carbón subterráneo se encuentren volúmenes con altas concentraciones de metano, y considere que es viable su drenaje antes y/o durante el desarrollo de las labores de extracción del mineral, para autogeneración, uso o eliminación del mismo, éstas labores deberán ser incluidas dentro del Plan de Trabajos y Obras (P.T.O.) o Programa de Trabajos e Inversiones (P.T.I.) o modificaciones a estos, presentado ante la autoridad minera para su

evaluación y aprobación, ajustándose a las mejores prácticas internacionalmente aceptadas. El gas extraído podrá ser utilizado en el proyecto minero o en caso de no ser utilizado el mismo, deberá ser quemado acorde con las estipulaciones técnicas que para este fin establezca la Autoridad Minera y ambiental.

Parágrafo. El seguimiento a la extracción y posterior uso del gas metano proveniente de la operación minera estará a cargo de la autoridad minera.

PROPUESTA

Para este apartado se plantea una serie de condiciones que se deben tener en cuenta al aplicar un sistema de extracción de metano:

- a) Donde se utilicen sistemas de captación del metano, ya sea en la superficie o bajo tierra, el plan de ventilación de la mina debería incluir un croquis detallado de cada sistema y las consiguientes precauciones de seguridad.
- b) Si los métodos de captación del metano, ya sea en superficie o bajo tierra, en zonas de actividad minera o donde la hubo, inciden en la ventilación de la mina, en el plan de ventilación también se deberían detallar esos métodos y describir las salvaguardas y controles concretos con que se cuenta para prevenir efectos adversos en la ventilación de la mina.
- c) Ningún ventilador aspirante debería instalarse en un sistema de captación de metano a menos que:
 - ✓ Sea de un tipo aprobado por la autoridad competente;
 - ✓ Esté fabricado e instalado de manera que cuando no esté funcionando, el metano no pueda fluir en sentido inverso;
 - ✓ El aspirador y el sistema estén dispuestos de manera que, cuando el primero no esté funcionando, el metano no pueda fluir en sentido inverso;
 - ✓ El aspirador esté conectado a tierra de manera que garantice una descarga eléctrica inmediata e inocua.
- d) Para albergar los ventiladores aspirantes de superficie deberían utilizarse sólo edificios convenientemente contruidos al efecto y que no deberían usarse para ningún otro fin.
- e) Todos los aparatos eléctricos utilizados con un ventilador aspirante deberían estar certificados como intrínsecamente seguros o a prueba de fuego.
- f) Salvo si el calorímetro empleado para detectar el metano es de llama desnuda, en el alojamiento del aspirador no debería utilizarse ninguna lámpara ni alumbrado, a menos que sea de un tipo autorizado. Además, todo calorímetro de llama desnuda debería instalarse en un compartimiento con ventilación propia y distinta de aquella de la sala del calorímetro
- g) El lugar de evacuación del metano debería mantenerse libre de todo aquello que pueda provocar su ignición.

- h) Si el metano se descarga en la atmósfera en la superficie, en los puntos de descarga deberían instalarse dispositivos apropiados que impidan que las llamas penetren en el sistema.
- i) De ningún sistema debería descargarse el metano en una vía de entrada de ventilación.
- j) El titular minero donde se haya instalado un sistema de captación o quema de metano debería tomar disposiciones para capacitar a un número suficiente de personas competentes que se encarguen de ese sistema.

7.2.1.11. NORMA TITULO XI-X DESAGÜE- CAPÍTULO I - Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas

Artículo 227. Control de las corrientes superficiales de agua. El titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero tienen la obligación de evitar que las corrientes superficiales de agua accedan a las labores subterráneas.

Artículo 228. Precauciones en trabajos que se realicen por debajo de corrientes o depósitos de agua. Con el fin de evitar inundaciones, se deben tomar precauciones especiales cuando se realicen trabajos mineros por debajo de corrientes o depósitos de agua.

Artículo 229. Manejo de las aguas. Las aguas subterráneas deben poder fluir naturalmente hacia la cota inferior de la mina, a pozos de recolección bajo tierra, de capacidad superior al agua que recibe, a partir de los cuales se efectuará el bombeo hasta la superficie, mediante bombas eléctricas o neumáticas, a menos que puedan fluir por gravedad hacia el exterior.

Parágrafo. Queda prohibido el uso de bombas con motor de combustión interna dentro de las labores mineras subterráneas. En minería de carbón, las bombas eléctricas y los elementos de alimentación y arranque deben tener protección anti-exposición y estar identificados con el símbolo Ex.

Artículo 230. Cunetas. En toda labor minera subterránea se deben construir pegadas a una de las paredes de la misma, cunetas con profundidad, ancho y pendientes que faciliten el desagüe.

Artículo 231. Evacuación de las aguas. El titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero, tienen la obligación de evacuar las aguas acumuladas en el interior de la mina y realizar los procedimientos establecidos por la normativa ambiental para neutralizarlas y poderlas verter en la superficie. Igualmente estará obligado a realizar las labores necesarias para evitar que las aguas de la labor subterránea inunden minas o labores mineras subterráneas vecinas.

Artículo 232. Labores de sondeo y desagüe. En todo trabajo en el que se presuma la posible existencia de un depósito de agua o “bolsillo de agua”, deberán

adelantarse las labores de sondeo y desagüe necesarias, las cuales serán dirigidas por el supervisor o por el responsable técnico de la labor minera subterránea.

PROPUESTA

Las irrupciones de agua constituyen un grave peligro en las minas de carbón. Las actividades mineras pueden realizarse cerca de viejas explotaciones o en anomalías geológicas que contienen agua, gases o materiales que pueden inundar la mina. Un peligro particular son las actividades realizadas cerca de viejas explotaciones que han sido muy poco controladas o no han tenido ningún control, o que no han sido objeto de la debida inspección y contienen masas de agua o gases peligrosos.

Las viejas explotaciones llenas de agua, sobre todo en sitios más elevados que la mina activa, pueden inundar rápidamente la mina y ahogar a los mineros. Adicionalmente, el agua actuaría como “tapón” impidiendo la salida de los gases, lo que traería riesgos para la operación de los equipos de oxidación de metano, por lo tanto, se considera tener en cuenta las siguientes recomendaciones para anexarlas al decreto 1886/2015.

- se debe contar con un estudio hidrogeológico el cual debe contener:
 - a) Los planos de las operaciones de extracción de carbón con la localización de acuíferos próximos al lugar de la operación minera y de depósitos de aguas superficiales (ríos, lagos, entre otros).
 - b) La localización de minados antiguos o abandonados, próximos a la zona a minar.
 - c) La determinación de los límites mínimos permitidos de proximidad a los minados antiguos o abandonados, para minar en función del estudio de mecánica de rocas, la topografía y geología del lugar.
 - d) El estudio se debe actualizar cuando:
 - ✓ Se modifiquen los procesos de extracción del carbón
 - ✓ Se evalúen nuevas zonas por minar
 - ✓ Los resultados de las revisiones indiquen frecuencias y cantidades elevadas de filtraciones de agua a la mina.
- A partir de los resultados del estudio hidrogeológico, se deben determinar, en su caso, las medidas de prevención y control de los riesgos que al menos contengan:
 - a) Las características de las barreras o pilares de protección entre la explotación y el minado antiguo o del cuerpo de agua
 - b) Los procedimientos operativos de avance de extracción y de conservación de la barrera de protección
 - c) Las características del sistema de bombeo
 - d) El plan de atención de emergencias

- Dar a conocer a los trabajadores los lugares de riesgo marcados en los planos de localización de las zonas de acumulación de agua cercanos a las áreas de explotación.
- Cuando se haya comprobado la existencia de agua, materiales o viejas explotaciones como otros peligros en las cercanías de la mina, el titular deberá preparar un plan de trabajo destinado a prevenir cualquier irrupción de agua, gases u otras materias que pueden poner en peligro la mina o a las personas. Ese plan debería comprender:
 - a) Métodos específicos para hacer exámenes previos, tales como sondeos de prueba realizados con perforadoras de gran alcance, cuando no se tiene información exacta sobre viejas explotaciones, agua, gases de minas u otros materiales peligrosos
 - b) Exámenes más frecuentes en las zonas explotadas
 - c) Barreras sólidas que se han de mantener entre la mina y los peligros
 - d) Métodos para capacitar a los trabajadores que deberán conocer la marcha a seguir en caso de peligros.

Antes de poner en práctica el plan, debería enviarse una copia de él a la autoridad competente, la cual deberá examinar el plan y prescribir las enmiendas que juzgue necesarias.

7.2.1.12. NORMA TÍTULO VII - INSTALACIONES ELÉCTRICAS - CAPÍTULO I- CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Artículo 171. Prohibición de uso de maquinaria o equipo eléctrico o electrónico. En minas subterráneas de carbón, se prohíbe el uso de maquinaria o equipo eléctrico o electrónico que no esté certificado bajo el RETIE, para trabajos en áreas clasificadas, es decir a prueba de explosión.

Artículo 172. Responsables de los trabajos en actividades eléctricas. Los trabajos en actividades eléctricas deberán ser ejecutados por técnicos, tecnólogos o ingenieros electricistas o electromecánicos con matrícula profesional vigente. Por tratarse de instalaciones especiales de alto riesgo, los técnicos y los tecnólogos deben actuar bajo la supervisión de un ingeniero.

Artículo 173. Obligación de los trabajadores. Es obligatorio para todo trabajador, proteger las instalaciones eléctricas. Cuando un trabajador observe alguna irregularidad en máquinas o instalaciones eléctricas, debe dar aviso al jefe de inmediato.

Artículo 174. Vigilancia y mantenimiento de las instalaciones eléctricas. Todas las instalaciones eléctricas deben estar sometidas a vigilancia y mantenimiento continuo, los cuales deben ser efectuados por una persona que cuente con matrícula profesional vigente, de conformidad con las leyes que regulan las profesiones de la electrotecnia.

Artículo 175. Procedimiento para las reparaciones de máquinas o Instalaciones eléctricas. Cuando se vayan a hacer reparaciones de máquinas o instalaciones eléctricas en las redes o cerca de ellas, se debe desconectar la corriente en el interruptor; si hay fusibles, se deben retirar y cerrar la tapa de los mismos con candado seguro y únicamente se accionará el interruptor después que se haya terminado en forma total la reparación. Es indispensable verificar la ausencia de tensión eléctrica en el sitio de trabajo y colocar polos a tierra. Se deben utilizar tarjetas de control (registros del mantenimiento).

Artículo 176. Análisis de riesgos previos a la realización de trabajos. Previamente a la realización de trabajos que no sean de naturaleza eléctrica, cercanos a las redes, máquinas e instalaciones eléctricas, se debe elaborar un análisis de riesgos específico y adoptar las medidas de prevención a que haya lugar. Cuando sea necesario, deben desconectarse los equipos.

Artículo 177. Prohibición de colgar objetos sobre los cables. Se prohíbe colgar cualquier clase de objetos sobre los cables, instalaciones y aparatos eléctricos.

Artículo 181. Diseño del circuito eléctrico. El diseño del circuito eléctrico debe cumplir con el RETIE y ser concebido de tal manera, que cualquier corto circuito o sobrecarga que se presente en él, accione inmediatamente las protecciones eléctricas.

Artículo 182. Instalaciones eléctricas en labores mineras subterráneas clasificadas como grisutuosas. En las labores mineras subterráneas clasificadas como grisutuosas (Categorías II y III del artículo 58 de este Reglamento), se deben utilizar instalaciones eléctricas de seguridad a prueba de explosión contra grisú, certificadas según el RETIE para uso simultáneos en Clase I, División 1, Grupo D y Clase II, División 1 Grupo f. Parágrafo. En este tipo de labores se deben utilizar cables de seguridad a prueba de explosión contra grisú.

Artículo 183. Corte de corriente eléctrica. Se debe cortar la corriente eléctrica cuando el tenor del metano alcance las concentraciones especificadas en el artículo 53 del presente Reglamento, procediéndose de inmediato a la evacuación del lugar. Se exceptúan de esta norma, los instrumentos de medición de seguridad intrínseca de grisú y los elementos de ventilación requeridos. Parágrafo. Sin perjuicio de lo que establece el anterior artículo, a estos lugares sólo puede ingresar personal especializado de salvamento y supervisión para llevar a cabo los trabajos necesarios para la dilución del metano por debajo de los límites máximos permisibles.

Artículo 184. Equipos a prueba de explosión. En minas grisutuosas todo el equipo eléctrico utilizado debe ser a prueba de explosión y debe estar identificado con el símbolo Ex.

Artículo 185. Prohibición de almacenamiento de líquidos inflamables. No se deben almacenar líquidos inflamables cerca de las instalaciones eléctricas.

PROPUESTA

El sistema eléctrico de la mina tiene una importancia significativa en la operación minera puesto que, entre otras cosas, es la encargada de mover los diferentes sistemas de ventilación.

Lo ideal es que el sistema eléctrico no sufra ningún corto o sobrecarga que interfiera en el funcionamiento de los ventiladores, ya que esto puede ocasionar disminución de velocidad, pérdidas de caudal de aire y disminución de la cantidad de metano en el aire, lo que conllevaría a tener problemas con la operación de los equipos de oxidación. Recordemos que estos equipos están diseñados para funcionar con un rango mínimo de metano y de aire, y cualquier variabilidad en el flujo y concentración de VAM pueden impactar significativamente la eficiencia de los equipos.

A continuación, se plantea una propuesta de reglamentación para el título VII ajustando algunos artículos y proponiendo nuevos.

- Se debe contar con planos de las operaciones mineras que indiquen la identificación y ubicación, al menos, de transformadores, interruptores, controles eléctricos, celdas de distribución, bombas, cargadores de baterías, circuitos eléctricos de telefonía y comunicaciones. Los generadores de emergencia deben estar ubicados en el exterior de las minas.
- Los planos de las instalaciones eléctricas deben cumplir con las siguientes condiciones:
 - a) Estar en idioma español y especificar la capacidad al menos de los transformadores, cargadores de baterías y protecciones de los circuitos
 - b) estar actualizados mensualmente y cuando existan cambios o nuevas instalaciones en la distribución de la energía eléctrica
 - c) Contar con el nombre y firma de los encargados del área de mantenimiento, seguridad y operación
 - d) Ser conservados al menos por un periodo de dos meses en documento y doce meses en registros electrónicos
 - e) Estar disponibles en las subestaciones y cuartos de control para consulta de los trabajadores.
- Se debe contar con el diagrama unifilar actualizado de las instalaciones eléctricas que al menos contenga:
 - a) Cuadro general de cargas
 - b) Número de fases;
 - c) Longitudes de cableado entre elementos del circuito
 - d) Impedancias y características nominales en kV o MVA de los transformadores;

- e) Corrientes de los interruptores de circuito (protecciones por circuitos derivados)
 - f) Plantas de emergencia (localizadas en el exterior)
 - g) Centros de medición (localizados en el exterior)
 - h) Centros de carga o tableros (localizados en el exterior)
 - i) Conmutadores de transferencia (localizados en el exterior)
 - j) Firma del responsable del área de mantenimiento
 - k) Dispositivos o sistemas de detección de defectos a tierra
 - l) Memoria de cálculo con las características de los equipos eléctricos que se deben utilizar en las instalaciones eléctricas en el interior y exterior de la mina y los cálculos que respalden el calibre de conductores que se deben usar, la capacidad de las protecciones, el balanceo de las fases, la capacidad de los circuitos y las protecciones contra sobrecarga y por cortocircuito.
- El diagrama unifilar debe:
 - a) Estar actualizado mensualmente o cuando existan nuevas instalaciones o cambios en la distribución de la energía eléctrica
 - b) Contar con el nombre y firma de los encargados del área de mantenimiento;
 - c) Conservarse al menos por un periodo de dos meses en documento y doce meses en registros electrónicos
 - d) Estar disponible en las subestaciones y cuartos de control para consulta de los trabajadores.
 - Se propone ajustar el artículo 174 y especificar que se debe contar con un ingeniero electricista con matrícula profesional vigente, el cual tendrá las siguientes funciones:
 - a) Coordinar la planeación, proyección, instalación y modificación a las instalaciones eléctricas, y efectuar las pruebas a los equipos instalados y por instalar en la mina subterránea de carbón.
 - b) Elaborar el listado actualizado de todos los equipos eléctricos que funcionan en los frentes de trabajo, incluidos los que se encuentren fuera de operación.
 - c) Contar con los procedimientos de seguridad para realizar actividades de conexión y desconexión de circuitos eléctricos; de empalme de conductores; de ampliaciones de circuitos derivados; de mantenimiento a equipos e instalaciones eléctricas, y de todas aquellas actividades relacionadas con el uso y manejo de la energía eléctrica en el interior y exterior de las minas subterráneas de carbón.
 - d) Elaborar y supervisar la ejecución de los programas anuales de:
 - ✓ Mantenimiento a los equipos eléctricos e instalaciones eléctricas
 - ✓ Revisión a los equipos y material eléctrico de acuerdo con las especificaciones del fabricante, para comprobar que continúan siendo, según aplique, “a prueba de explosión”, “intrínsecamente seguro” o

“anti-deflagrante”, y elaborar el reporte correspondiente, conservando la evidencia documental de la última revisión.

- e) Evaluar la capacidad técnica de los trabajadores que realicen las actividades de conexión y desconexión de circuitos eléctricos; de empalme de conductores, y de ampliaciones de circuitos derivados de mantenimiento a equipos e instalaciones eléctricas.
 - f) Seleccionar el equipo eléctrico que se deba utilizar en las instalaciones eléctricas de las minas subterráneas de carbón, incluyendo los tipos de protección contra sobrecarga y corte de energía de todos y cada uno de los circuitos derivados.
 - g) Actualizar al menos una vez por mes los planos de las operaciones mineras con la identificación y ubicación de equipos e instalaciones eléctricas.
 - h) Proporcionar el visto bueno del responsable de seguridad a todo equipo que provenga del taller por reparaciones, y que sea programado para ser instalado en el interior de la mina. Guardar la evidencia documental de la última reparación.
- Queda prohibido introducir a las minas cables de telefonía y comunicaciones por los mismos barrenos por donde se introducen los cables de los circuitos eléctricos de fuerza.
 - Ninguna persona debe trabajar en circuitos eléctricos energizados en lugares del interior de la mina donde se utilicen o manejen explosivos, o sustancias inflamables o combustibles.
 - Sólo personal autorizado puede entrar a las áreas donde se ubica la subestación o los transformadores y modificar el funcionamiento de aparatos o equipos en esos lugares.
 - No se debe permitir que los trabajadores realicen actividades de revisión o mantenimiento en equipos energizados.
 - No se deben utilizar empaques de ningún tipo en las uniones del control eléctrico, excepto entre las partes de metal y cristal. En estos casos, los empaques deben estar recubiertos de metal y mecánicamente adheridos al vidrio.
 - Las instalaciones mineras deben contar en el exterior de las minas subterráneas de carbón, con un sistema de puesta a tierra que sirva para la descarga de las corrientes de falla de la red eléctrica subterránea.
 - Las instalaciones mineras deben contar en el interior de las minas subterráneas de carbón con un sistema de puesta a tierra para descargar la electricidad estática generada por los procesos y para descargar las corrientes generadas por fallas de aislamiento o por otro tipo de fallas eléctricas que requieran drenarse para evitar riesgos eléctricos a los trabajadores, riesgos de incendio o riesgos de explosión.

- Los equipos eléctricos, materiales y dispositivos de protección contra sobre corrientes o por cortocircuito, deben ser los adecuados para las tensiones de las líneas de alimentación de cada circuito derivado donde se instalen.

7.3. PROPUESTA DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA EQUIPO DEL EQUIPO DE OXIDACIÓN

7.3.1. NORMA

En primera instancia nos remitiremos a la La ley 685 de 2001-Artículo 60, el cual Reza “Autonomía empresarial. En la ejecución de los estudios, trabajos y obras de exploración, montaje, construcción, explotación, beneficio y transformación, el concesionario tendrá completa autonomía técnica, industrial, económica y comercial. Por tanto, podrá escoger la índole, forma y orden de aplicación de los sistemas y procesos y determinar libremente la localización, movimientos y oportunidad del uso y dedicación del personal, equipos, instalaciones y obras. Los funcionarios de la entidad concedente o de la autoridad ambiental, adelantarán sus actividades de fiscalización orientadas a la adecuada conservación de los recursos objeto de la actividad minera a cargo del concesionario, y garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad e higiene mineras y ambientales”.

Ahora, el decreto 1886 de 2015 en el Artículo 59 se refiere a “Extracción del gas Metano. En aquellos casos que el titular minero compruebe que en el área concesionada donde adelantará su proyecto minero de carbón subterráneo se encuentren volúmenes con altas concentraciones de metano, y considere que es viable su drenaje antes y/o durante el desarrollo de las labores de extracción del mineral, para autogeneración, uso o eliminación del mismo, éstas labores deberán ser incluidas dentro del Plan de Trabajos y Obras (P.T.O.) o Programa de Trabajos e Inversiones (P.T.I.) o modificaciones a estos, presentado ante la autoridad minera para su evaluación y aprobación, ajustándose a las mejores prácticas internacionalmente aceptadas. El gas extraído podrá ser utilizado en el proyecto minero o en caso de no ser utilizado el mismo, deberá ser quemado acorde con las estipulaciones técnicas que para este fin establezca la Autoridad Minera y ambiental. Parágrafo. El seguimiento a la extracción y posterior uso del gas metano proveniente de la operación minera estará a cargo de la autoridad minera”.

El artículo 59 del decreto 1886 de otorga facultades a la Agencia Nacional de Minería para hacerle seguimiento a la extracción y posterior uso del gas metano proveniente de la operación minera, por otro lado es obligación del titular minero adoptar y mantener las medidas y disponer del personal y de los medios materiales necesarios para preservar la vida e integridad de las personas vinculadas a la empresa y eventualmente de terceros, de conformidad con las normas vigentes sobre seguridad, higiene y salud ocupacional.

7.3.2. PROPUESTA

Conforme a lo anterior, se realiza la siguiente propuesta sobre las normas de seguridad que se deben tener durante la operación y mantenimiento de equipos de oxidación, basándonos en que todos los equipos tienen una operación similar sin embargo cada empresa fabricante de equipos dentro del manual de operación adjunta específicamente los aspectos de seguridad a tener en cuenta para la instalación, operación y mantenimiento.

7.3.3. CONSIDERACIONES:

- El panel de control del equipo de oxidación contiene voltajes peligrosos de más de una fuente de energía, por lo tanto, solo personal capacitado y autorizado será el encargado de realizar las reparaciones que se requieran.
- Con base en los procedimientos descritos en el manual de operación del equipo, el titular debe elaborar procedimientos de trabajo con la finalidad de que todo el personal de operación y mantenimiento los estudie y se familiarice con los componentes y características de operación.

7.3.3.1. Ventiladores.

- La instalación de ventiladores debe ser realizada por personal experimentado y capacitado.
- Se debe instalar protectores en el ventilador y otras máquinas en movimiento con el fin de evitar la entrada de objeto arrojados y en caso de que el ventilador sea accesible para personal no capacitado o público en general se recomienda instalar protecciones de seguridad máxima.
- Se recomienda instalar protecciones de entrada y salida a los ventiladores axiales y centrífugos.
- Los ventiladores pueden ser impulsados directamente desde el eje del motor o a través de una transmisión por correa. En todos los casos en que el conjunto de cojinete, el eje giratorio, las roldanas o las correas estén expuestos, se debe proporcionar una protección adecuada.
- Cuando se inicia un ventilador por primera vez, se debe realizar una inspección completa de todos los conductos y del interior del ventilador para asegurarse de que no haya materiales extraños que puedan aspirarse o soplarse.
- Además de los peligros normales de la rotación de la maquinaria, los ventiladores presentan un riesgo adicional en su capacidad para aspirar, no solo aire sino también material suelto.
- Los objetos sólidos pueden pasar a través del ventilador y ser descargados por la rueda como proyectiles potencialmente peligrosos, por lo tanto, se prohíbe abrir las puertas de acceso al sistema de conductos cuando el ventilador se encuentre funcionando ya que del lado donde el sistema ejerce presión al soltar la puerta con el sistema funcionando puede producirse una apertura explosiva,

y por el lado de succión, el flujo de entrada puede ser suficiente para aspirar a una persona o herramientas.

- Se recomienda realizar una lista de chequeo y verificación para tener en cuenta antes de iniciar el equipo, ésta se debe elaborar según las consideraciones del fabricante del equipo.
- Cada ventilador debe estar provisto de un interruptor de desconexión que le permita aislarse por completo del suministro eléctrico.
- La mayoría de los ventiladores montados en el techo y muchos otros se inician con interruptores o botones a distancia, mediante enclavamientos con otros equipos o mediante controles automáticos. En estos casos, se debe proporcionar un interruptor de desconexión cerca del ventilador para que el personal de mantenimiento pueda cortar y "bloquear" de manera "positiva" al trabajar con el ventilador.
- Cuando otros equipos, como los quemadores de gas, se encuentren interconectados con el ventilador, de modo que la desconexión del ventilador apagará automáticamente el quemador u otro dispositivo. El mantenimiento de sistemas de este tipo debe realizarse solo bajo la supervisión de personal competente.
- Si el ventilador está operando con presencia de humos tóxicos o explosivos, incluso en trazas, se debe tener cuidado para asegurar que los humos no se hayan acumulado en las áreas que requieren acceso por parte del personal. Las concentraciones de humos pueden acumularse en las áreas de "trampa de aire", especialmente cuando un sistema se apaga.
- Se deben instalar tapones de drenaje que impidan la acumulación de agua dentro de la carcasa del ventilador ya que los ventiladores sin protección sometidos a un ataque corrosivo eventualmente fallarán, sin embargo, los revestimientos protectores adecuados o el material utilizado en la construcción del ventilador son resistentes a la corrosión. También se recomienda que las protecciones sean inspeccionadas regularmente para asegurarse que ésta sigue siendo efectiva.
- Nunca permita que un ventilador funcione si la amplitud de la vibración está por encima del límite máximo de seguridad. Generalmente este límite está incluido en las instrucciones de mantenimiento del equipo.
- Se debe verificar que el aire de enfriamiento del motor no haya sido desviado o bloqueado por algún obstáculo o suciedades. Además, se debe verificar la potencia de entrada ya que un aumento en la potencia puede indicar un cambio o fallo importante en el sistema.

7.3.3.2. Quemadores Y Pilotos

- Se debe establecer un programa de mantenimiento preventivo teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante para los quemadores y trenes de

combustible que incluya, un cronograma, lista de inspección y acciones sobre las recomendaciones dadas.

- Los quemadores y los pilotos deben mantenerse limpios y en condiciones de funcionamiento adecuadas. Las partes refractarias del quemador deben examinarse a intervalos regulares frecuentes para asegurar su buen estado.
- Cuando se usan salvaguardas de llama automáticas, se debe realizar un apagado y reinicio completo a intervalos frecuentes para verificar que los componentes funcionen correctamente.
- Los equipos de protección accesorios, tales como válvulas de reinicio manual, interruptores de presión o vacío, interruptores de límite de alta temperatura, control de tiro, válvulas de cierre, interruptores de flujo de aire, interruptores de puerta y válvulas de gas, deben operarse a intervalos regulares frecuentes para garantizar el funcionamiento correcto. Si no funcionan, deben repararse o reemplazarse de inmediato. Cuando se instalan controles de fuego en la tubería de la mezcla de aire y gas, la pérdida de presión a través de los controles de fuego debe medirse a intervalos regulares. Cuando se encuentra una pérdida de presión excesiva, las pantallas deben quitarse y limpiarse.
- Todas las válvulas de cierre de seguridad deben revisarse para detectar fugas y un funcionamiento adecuado a intervalos regulares frecuentes.
- El personal que ingrese al equipo debe asegurarse que se encuentre desactivada la energía eléctrica y mecánica, que no se encuentren gases combustibles, asfixiantes y tóxicos, y tener presente la señalización respectiva de NO OPERAR mientras se encuentra personal dentro del equipo.
- Antes de ingresar personal asegúrese que el equipo se haya enfriado.

7.4. CONCLUSIONES.

- El título 30, expedido por el Código de Regulaciones Federales (30 CFR por sus siglas en inglés) otorga una variedad de derechos y responsabilidades para las personas que laboran en minería subterráneas. La sub-parte D de este código, establece instrucciones y procedimientos que se deben tener en cuenta para las mediciones de los sistemas de ventilación y los mantenimientos de los ventiladores. De igual manera presentan alternativas técnicas de construcción y diseño de cerramientos aplicados al tipo de minería que trabajan allí.

- Para implementar un proyecto de aprovechamiento u oxidación de los ductos de ventilación VAM, es necesario ser rigurosos con las mediciones del sistema de ventilación, por lo tanto, se plantea la modificación y ajustes de algunos artículos del decreto 1886/2015, Título II VENTILACION.

- El nivel organizacional de la mina para implementar un proyecto de oxidación o autogeneración en los ductos de ventilación VAM debe ser alto debido a la

cantidad de datos, análisis y registros que se deben tomar para hacer un efectivo seguimiento a los sistemas de ventilación de la mina. Adicionalmente, se propone que la mina que quiera implementar un proyecto de este tipo, conforme el departamento técnico de ventilación conformado por personal capacitado en instalación, operación, puesta en marcha y mantenimiento de tecnologías de oxidación VAM.

- Las viejas explotaciones llenas de agua, pueden inundar rápidamente la mina y ahogar a los mineros, además, el agua actuaría como “tapón” impidiendo la salida de los gases, lo que traería riesgos para la operación de los equipos de oxidación de metano, de modo que, se recomienda que todo titular minero obtenga de la autoridad competente y de cualquier otra fuente información disponible sobre todas las actividades mineras realizadas antes de comenzar una explotación; realizar todas las perforaciones necesarias para tomar muestras de sondeo y examinarlas para analizar las capas a fin de comprobar que no existen peligros para efectuar las actividades mineras; e incorporar a los planos de la mina toda la información útil relativa a la ubicación, extensión y profundidad de:

- a) viejas explotaciones que tengan o no su origen en explotaciones mineras, así como la exactitud de las pruebas realizadas en esas explotaciones
- b) capas acuíferas

El explotador de la mina debería poner en conocimiento de todas las personas interesadas la totalidad de los resultados disponibles y pertinentes reunidos, y comunicarle las medidas tomadas al respecto.

7.5. BIBLIOGRAFIA

DECRETO 1886/2015
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=63072>

Título 30 del Código de Regulaciones Federales.
<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title30-vol1/pdf/CFR-2012-title30-vol1.pdf>

Norma Oficial Mexicana NOM-032-STPS-2008,
<http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2008/bol024/vinculos/NOM-032-STPS-2008%20DOF%20231208.pdf>

Organización Internacional del Trabajo, Ginebra 2006. Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en las minas de carbón subterráneas http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112412.pdf

8. CONCLUSIONES

Con base en el estudio realizado y en el contenido de este informe se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo a los ejercicios de simulación económica para implementar la tecnología VAM en Colombia, el valor mínimo que debería tener un bono de carbono por abatir una tonelada de CO₂ equivalente para minas con una producción de metano cercano a 18 mil toneladas de CO₂ por año es de USD\$ 8.70.
- Sin embargo teniendo en cuenta que minas con producción de metano cercano a 18 mil toneladas de CO₂ por año son escasas en Colombia. Se sugiere fuertemente que el bono de carbono por abatir una tonelada de CO₂ equivalente sea igual o similar al de California, es decir USD\$14.75.
- De acuerdo al ejercicios de simulación económica para implementar la tecnología VAM en Colombia el punto de equilibrio en una minas cercan a 18 mil toneladas de CO₂ por año con un bono de USD\$14.75 se logra al año 11.
- De acuerdo al ejercicios de simulación económica, y al valor actual de la tecnología VAM, utilizando el modelo plantilla de Excel y bajando los valores de CO₂ equivalente hasta que el valor presente neto VPN sean casi cero (positivos), podemos predecir que bajo este escenario de valores un proyecto por encima de 15.800 Ton de CO₂ equivalente por año para la tecnología de ANGUIL y 18.000 Ton de CO₂ para la propuesta de GCES, son proyectos financieramente posibles con un punto de equilibrio cercano a los 11 años.
- El costo de abatir una tonelada de CO₂ equivalente mediante tecnología VAM y bajo los costos actuales de la tecnología, para una mina que produzcan cercan a 18 mil toneladas de CO₂ por año es variable hasta que se logra el punto de equilibrio, iniciando en USD\$ 10.31 en el primer año, estabilizándose después de lograr el punto de equilibrio al año 11 a USD\$4.36.
- Teniendo en cuenta que, desde el punto de vista económico, tecnologías como las ofrecidas por **ANGUIL** permiten viabilizar este tipo de proyectos debido a sus menores costos de implementación.

Además el estudio de construcción de un modelo para Colombia de aprovechamiento u oxidación de gas metano de los ductos de ventilación (VAM) de las minas subterráneas de carbón produjo las siguientes conclusiones:

- Con base en el diagnóstico minero realizado en el área piloto, se seleccionaron dos propuestas de integración de minas para desarrollar proyectos VAM:
 - Propuesta 1: Minas San Miguel (UNIMINAS)-Canales e inclinado Diamante 7 (PROMINCARG).

- Propuesta 2: Minas Volcán-Mortiño (PROMINCARG).
- Se escogió la integración de las Minas San Miguel (UNIMINAS) - Inclinado Diamante 7 y Canales (PROMINCARG), como una unidad de producción de metano, por las siguientes razones:
 - Por su ubicación y avance de labores, las minas permiten realizar ajustes a los circuitos de ventilación (Ver Anexo B.1).
 - La producción de carbón de la Mina San Miguel es de 1.216 Ton/mes y Canales es de 103,8 Ton/mes, que sumándolas sería de 1.319,8 Ton/mes, Diamante 7 es un inclinado que comunica las dos minas.
 - En la Mina San Miguel laboran actualmente 32 personas y en la mina Canales 12, sería un total de 44 personas a las que se les mejora las condiciones de seguridad al lograr implementar un proyecto de este tipo debido a que se debe tener un control más estricto de metano y de las condiciones de ventilación y sus equipos.
 - Tienen un ingeniero en minas permanente encargado de la operación de la mina. El volumen de metano de la Mina San Miguel es de 932.662,77 m³/Año en este volumen se encuentra la producción de metano de diamante 7 (65.302,85 m³/año) ya que esta labor funciona como salida de aire de yacimiento San Miguel; y de la Mina Canales es de 190.356,48m³/Año, sumando estos volúmenes se tendría un total 1.123.019,25 m³/Año, es decir 18.810, 57 Ton CO₂Eq/Año.
- Se escogió la integración de las Minas El Volcán - Mortiño, como una unidad de producción de metano, por las siguientes razones:
 - La mina El Volcán - El Mortiño son unidades de producción minera que a pesar tener operadores diferentes estas se encuentran comunicadas, lo cual facilita el rediseño de los sistemas de ventilación.
 - La producción mensual de carbón es de 126 Ton/mes.
 - Laboran bajo tierra 15 personas a las que se les mejoraría las condiciones de seguridad al lograr implementar un proyecto de este tipo debido a que tendría un control más estricto de metano, de las condiciones de ventilación y sus equipos, además esta mina en el pasado ha registrado accidentes de trabajo por presencia de metano.
 - El volumen de metano de la mina El Volcán - Mortiño es de 809.948,16m³/Año, lo que equivale a 8.440,07 TonCO₂-Eq.
- Aunque los proyectos se presentan por aparte, ellos tienen como factor común sus características mineras y de VAM. Por lo tanto al tener características similares la tecnología a aplicar también deberá tener características similares.

- En las minas piloto no es viable implementar un proyecto de aprovechamiento de gas metano debido a que la producción de VAM no cumple con las condiciones mínimas requeridas necesarias:
 - volumen de aire de los ductos de ventilación sea al menos de 500.000 Nm³/h
 - porcentaje de metano mínimo de 0,7%.
- En consecuencia se propone un proyecto de oxidación del metano producido en las minas piloto ya que son insuficientes para implementar un proyecto de generación de energía.
- Establecidas las condiciones internas de seguridad del sistema RTO y del sistema de ventilación, se deberán establecer medidas de seguridad externas al sistema.
 - establecer una "zona de riesgo" o zona de exclusión de seguridad alrededor del punto de descarga.
 - En la zona de exclusión debe prohibirse equipos inseguros, que puedan generar algún tipo de chispa.
 - prohibir las visitas a la zona en donde se localiza el sistema RTO, salvo por mantenimiento del equipo o por una emergencia grave.
- El sitio de instalación del sistema debe en lo posible ser plano, sobre él se debe construir una plataforma de carga en concreto nivelada y estable, con suficiente área para permitir que el sistema VAM, sus equipos y la sala de control se instalen sin que las demás actividades interfirieran con el sistema.
- Para el funcionamiento del sistema RTO de oxidación propuesto, las necesidades de agua son mínimas, el agua se necesita solo para limpieza, que puede ser suministrado por un carro tanque.
- Los requisitos de infraestructura energética incluyen la electricidad para el funcionamiento de los ventiladores auxiliares y los equipos de control de la mina. El gas natural debe estar disponible para la puesta en marcha del proceso aunque se conciba como un sistema pequeño.
- Las tecnologías de posible aplicación en las minas del área piloto, son las tecnologías que han desarrollado equipos que trabajan con menores cantidades de VAM. Esta son las proporcionadas por Anguil, Dürr, GCES y Biohértmica.
- Tecnologías que requieren mayores valores de flujo de aire de ventilación (MEGTEC, Shengli Shandong) no pueden ofrecer una buena solución a las minas Colombianas del área piloto.
- De estas tecnologías, comparados con sus pares tecnológicos, la de ANGUIL tiene la capacidad de procesar las menores cantidades de VAM (5000m³/h, con porcentajes de alrededor del 0,2 % de metano).

- La producción de VAM y la concentración de metano de las minas seleccionadas cumplen con las condiciones mínimas de operación requeridas por la unidad de destrucción del VAM de ANGUIL y GCES.
- Los diseños de los sistemas de ventilación implementados actualmente en las minas de carbón de Colombia no son los adecuados para posibilitar la implementación de un proyecto VAM, ya que generan múltiples obstrucciones a lo largo de la línea de flujo de los sistemas de ventilación como consecuencia de la disposición de varios ventiladores pequeños en la línea de flujo.
- Lo más recomendable para posibilitar la implementación de proyectos VAM en Colombia, es hacer un proceso de reingeniería de los sistemas de ventilación que permita un flujo sin interrupciones.
- En las minas colombianas aun con buenas condiciones técnicas, los sistemas de ventilación actuales podrían verse abrumados por los repentinos flujos de gas provenientes de los mantos de carbón, los incendios o las explosiones, por tal motivo el proyecto piloto debe incluir un sistema de ventilación más confiable para garantizar la seguridad y permitir que la unidad de destrucción VAM demuestre su efectividad.
- Debido a que los dos proyectos propuestos presentan similitud en sus características mineras y aunque presentan diferencias en la producción de VAM, los costos de inversión son similares para los dos proyectos ya que los equipos deben tener las mismas características técnicas, igual sucede con los costos de mantenimiento, de transporte y de nacionalización. Esto podría ser aplicado otras minas colombianas similares.
- Los ejercicios económicos realizados para un escenario en el que no existe un mercado de carbono (o incentivo del gobierno) que permita ingresos al proyecto, muestran resultados negativos de VPN en todos los casos, pues no tendrá ningún ingreso. Los VPN's resultante para todos los escenarios son negativos, esto debido a que no hay fuentes de ingresos para un proyecto de destrucción de VAM en Colombia.
- Un valor de bonos de carbono entre US\$14 y 15 dólares sería ideal para los proyectos de VAM en Colombia, permitiendo un flujo de caja positivo.
- Mediante simulación de flujos de caja, podemos predecir que bajo este escenario de valores un proyecto por encima de 15.800 Ton de CO₂ equivalente por año para la tecnología de ANGUIL y 18.000 Ton de CO₂ para la propuesta de GCES, son proyectos financieramente posibles
- Las empresas seleccionadas del área piloto se tiene que UNIMNAS S.A tiene una producción de 19.250Ton/mes y PROMINCARG S.AS.13.976 Ton/mes.

- En temas de ventilación en UNIMINAS S.A, todas la minas de la empresa tienen un sistema de ventilación forzado, este circuito fue calculado por un ingeniero en minas con experticia en ventilación, tienen una persona responsable del plan de ventilación y el supervisor de cada turno es el responsable.
 - Las minas cuentan con isométrico de ventilación donde están ubicados los ventiladores, puntos de aforo, medición de los principales gases (CH₄, O₂, CO₂) que se toman durante todos los turnos, dispositivos de ventilación tales como reguladores, puertas, medición de aforos que se toman mínimo una vez al mes, conectores utilizados para controlar el movimiento del aire con áreas explotadas.
 - En zonas abandonadas tienen vendas para impedir la contaminación del aire fresco. Se lleva un protocolo y registro de mantenimiento de ventiladores así como registro de mantenimiento de las vías de ventilación (niveles y tambores de ventilación) y registro de capacitaciones realizadas al personal en temas de ventilación. La mayoría de las minas cuentan con un ventilador principal axial y ventiladores auxiliares al interior de la mina.
- En PROMINCARG S.A.S., todas las minas de la empresa tienen un sistema de ventilación forzado, este circuito fue calculado por un ingeniero en minas, algunas minas tienen plan de ventilación actualizado, otras lo tienen en proceso de elaboración; el supervisor de turno o el administrador de la mina es la persona responsable de la ventilación de la mina. Tienen técnicos en minería bajo tierra que se encargan de supervisar mensualmente los aspectos técnicos y de ventilación de cada mina.
- Según el cálculo de emisiones del área piloto las minas que más CO₂ aportan a la atmósfera son El Volcán –Mortino (13,57 tCO₂-E) de la empresa Promincarg S.A.S y la mina San Miguel (15,62 tCO₂-E) de la empresa UNIMINAS S.A.
- De acuerdo con la Política Nacional de Cambio Climático y una vez realizado y analizado los diagnósticos (internacional y nacional) se establecen una serie de estrategias que facilitarían la puesta en marcha de proyectos de este tipo, de aprovechamiento o quema de gas metano de los ductos de ventilación (VAM) como son:
 - Establecer en lo posible, compromisos entre las dos empresas con el fin de establecer y ejecutar el diseño planteado, unificar criterios económicos, técnicos, tecnológicos, administrativos y de financiación para llevar a término el proyecto
 - Establecer nuevas perspectivas empresariales, hacia nuevos fines y objetivos (producción limpia baja en carbono) que permitan asegurar la continuidad operativa de la empresa a la par de la implementación de estos proyectos.

- Resaltar los aspectos positivos y de beneficios (Producción limpia baja en carbono, disminución de los riesgos por presencia de gas metano, reducción de costos por incentivos económicos, entre otros).
- Implementar cambios tecnológicos en las minas subterráneas de carbón que permita la implementación de este tipo de proyectos.
- **Capacitación de personal profesional, técnico y operativo en este tipo de proyectos.**
- Aunque las dos empresas Uniminas y Promincarg han mostrado un enorme interés en este proyecto piloto, se encontró que no cuentan con la experiencia ni con el músculo financiero para su implementación, de igual manera esto aplica para las minas subterráneas de carbón localizadas en cualquier departamento, se plantean las siguientes estrategias:
 - Definir una reglamentación clara y precisa para el fomento de este tipo de proyectos.
 - Para la implementación de un proyecto VAM de tipo experimental como el que se propone en este estudio y sin la experiencia en el entorno nacional, se hace necesario solicitar la participación de profesionales de aquellos países en donde ya se han implementado estas tecnologías.
 - Es necesario solicitar la asistencia económica, financiera, técnica y tecnológica, aprovechando los compromisos internacionales y el PNCC, para la disminución de las emisiones de GEI.

9. RECOMENDACIONES

- Los aspectos geológicos hacen parte de la fase de planeación (exploración) para la implementación de un proyecto de aprovechamiento u oxidación de gas metano de los ductos de ventilación, estos datos son los que permitirán definir por un lado la vida útil del proyecto minero así como la viabilidad de implementación del proyecto VAM.
- Para la implementación de un proyecto de oxidación de gas metano en los ductos de ventilación se debe tener claro que los principales insumos es el gas metano y el caudal de aire proveniente de la ventilación de la mina es por esto que es de vital importancia tener una mina lo más organizada posible tanto en vías de acceso, de preparación y labores de explotación así como en cada una de las operaciones unitarias y de servicios, ya que el mínimo error u omisión de las tareas encomendadas puede generar pérdidas de caudal de aire y disminución de la cantidad de metano en el aire lo que conllevaría a tener problemas con la operación de los equipos de oxidación debido a que como se indicó anteriormente el funcionamiento de estos equipos depende de que se garantice un mínimo de metano contenido en el aire de la ventilación VAM.
- Se recomienda que Gobierno Colombiano genere una política de mercados o incentivos de carbono al nivel y o en colaboración con los principales mercados de carbono internacional
- El gobierno Colombiano cree acuerdos con instituciones financieras internacionales para facilitar a las compañías mineras colombianas el acceso a opciones de financiación para proyectos de oxidación o aprovechamiento de metano.
- El gobierno colombiano debe generar una nueva legislación específica para la implementación de tecnologías VAM.
- Uno de los riesgos principales es que la ventilación sea obstruida, lo que provocará una Variabilidad en el flujo y concentración de VAM lo que puede impactar significativamente la eficiencia de los sistemas de oxidación; además estos sistemas no pueden arrancar rápidamente o tener paradas no programadas, es decir el explotador minero deberá tener presente que el equipo debe funcionar casi que las 24 horas del día.
- se recomienda que el experto en electricidad de la mina diseñe un sistema eléctrico de tal manera que en caso de cortos o sobrecargas se garantice que los ventiladores siguen funcionando correctamente dando cumplimiento al plasmado en el decreto 1886 de 2015 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE.
- El sistema eléctrico de la mina tiene una importancia significativa en la operación minera puesto que entre otras cosas es la encargada de mover los diferentes sistemas de ventilación, de allí el valor que tiene en la operación y funcionamiento de un proyecto de oxidación VAM.

- Lo ideal es que el sistema eléctrico no sufra ningún corto o sobrecarga que interfiera en el funcionamiento de los ventiladores ya que esto puede ocasionar disminución de velocidad, pérdidas de caudal de aire y disminución de la cantidad de metano en el aire lo que conllevaría a tener problemas con la operación de los equipos de oxidación.
- Para evaluar la factibilidad técnica y económica para implementar un proyecto VAM, se debe tener una mina que cumpla con todas las características técnicas y de seguridad que exige la normatividad legal colombiana además debe contar con ciertas condiciones mínimas que garanticen la estabilidad del contenido de metano y flujo de aire como las que se describieron anteriormente
- Adicional a lo anterior se debe tener un conocimiento mínimo de las características de la producción de metano de la mina por esto si el explotador minero está interesado en la implementación de un proyecto de oxidación de los ductos de ventilación VAM se debe hacer un seguimiento de los porcentajes de metano emitido por la corriente de aire de ventilación y las variaciones en la concentración de metano y en el caudal de aire de ventilación, este seguimiento se recomienda hacerlo durante mínimo 4 meses continuos.
- Con los datos obtenidos del seguimiento inicia la evaluación y análisis de las tecnologías existentes en el mercado y su aplicación en proyectos internacionales para determinar que métodos (autogeneración u oxidación) y que tecnología se puede aplicar para las condiciones VAM que se tienen en la mina.
- El país debe avanzar en la evaluación de reservas de gas metano inherente al carbón.
- La toma y registro de aforos y datos de metano debe ser sistemática, las minas subterráneas de carbón deben mejorar estos aspectos y la autoridad minera debe ser estricta en estas inspecciones. Esto es importante para la seguridad minera y para la toma de decisiones sobre proyectos futuros de aprovechamiento o eliminación del gas metano.
- Los sistemas de ventilación deben adecuarse de tal manera que sea capaz (el sistema) de evacuar en lo posible la mayor cantidad de metano que se produce en el laboreo minero. Esto permitirá cuantificar de mejor manera el metano producido.
- Los sistemas de ventilación deben tener las mejores condiciones técnicas, deben tener un plan de mantenimiento, medición de velocidades, identificación de fallas (mecánicas, eléctricas y de funcionamiento en general) y con interruptores intrínsecamente seguros. La ventilación debe estar sistematizada para conocer en tiempo real su estado. De igual manera el plan debe tener especificado el que hacer en caso de que falle algún elemento del sistema.
- Si en el país se quiere avanzar en la implementación del aprovechamiento o eliminación del gas metano inherente al carbón, es necesario que se defina una reglamentación y un sistema incentivos que permita disminuir los costos de esta implementación y genere no solo beneficios ambientales sino (porque no)

rendimientos económicos que hagan que este sector tenga un desarrollo (crecimiento) bajo en carbono.

10. REFERENCIAS

14th INTERNATIONAL EXHIBITION ON PRINTING • PACKAGING • CONVERTING DIGITAL PRINTING & SIGNAGE TECHNOLOGY Megtec Systems Pvt. Ltd. – Energy from Coal Mine Ventilation Air Methane <http://printpackipama.com/megtec-systems-pvt-ltd-energy-from-coal-mine-ventilation-air-methane/>.

BOGER, C., A., 2014. Legal and Regulatory Status of CMM Ownership in Key Countries. Mongolia Coal Mine Methane Recovery and Utilization. Ulaanbaatar, Mongolia June 18, 2014. <https://www.globalmethane.org/documents/cmop-mongolia-presentations/Boger-CMM-Legal-Regulatory-Policies.pdf>.

CLUFF, D.L., KENNEDY, G.A., BENNET, J.G., FOSTER, P.J., 2015. Capturing energy from ventilation air methane a preliminary design for new approach. Appl. Therm. Eng. 90, 1151e1163. [http://refhub.elsevier.com/S1875-5100\(16\)30653-9/sref4](http://refhub.elsevier.com/S1875-5100(16)30653-9/sref4)

CEC-. China Environmental United Certification Center Co., Ltd -2012, Wantian Coal Mine CMM and VAM Utilization Project. Report No. 118/101166. http://cdm.unfccc.int/filestorage/f/b/UKMR1JBGE4XZVH9QTAI783DCWY0S2N.pdf/wantian%20project%20FVR%20v4%2020120721.pdf?t=NDF8b3hxcmNnfDDe_46gumjS8UJa6RbA77zf.

El Espectador. 2017. Gobierno anuncia fondo de US\$500 millones para combatir el cambio climático. Redacción Medioambiente. 14 Feb 2017. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/gobierno-anuncia-fondo-de-us500-millones-para-combatir-el-cambio-climatico-articulo-679872>.

Hartman, W., Everson, M., Pang, B., Hayes, S. Is Minningat a 900M Below Surface at the Xuandong Coal Mine in China Challenging or Just Interesting Rock Mechanics?. 31st International Conference on Ground Control in Minning.

HULEATT, M.B., 1991 - Handbook of Australian black coals: geology, resources, seam properties, and product specifications. Bureau of Mineral Resources, Australia, Resource Report 7.

IMC Group Consulting Limited (IMC), 2002 - Study of coal Reserves at Existing Deep Mines in the UK – Review of the Remaining Reserves at Deep Mines. Department of Trade & Industry. UK

MARSHALL MILER & ASSOCIATES, INC., WALTER ENERGY, INC., Technical Report on the No. 4 and No. 7 Mine coal Properties of Jim Walter Resources, Alabama, USA. 2011.

Somers, J., & Burklin, C., (2012). A 2012 update on the world VAM oxidizer technology market. 14th United States/North American Mine Ventilation Symposium,

2012 – Calizaya & Nelson © 2012, University of Utah, Dept. of Mining Engineering.
<https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/2012-VAM-update.pdf>.

Somers, M.J. & Schultz, H.L. (2008). Thermal Oxidation of Coal Mine Ventilation Air Methane. 12th U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2008, Reno, NV (U.S.): Wallace.

Somers, J., & Schultz, H. (2010). Coal mine ventilation air emissions: Project development planning and mitigation technologies. In S. Hardcastle & D. McKinnon (Eds.), 13th United States/North American Mine Ventilation Symposium. Sudbury, Ontario: MIRARCO. Retrieved March 14, 2012, from the US Environmental Protection Agency website, <http://www.epa.gov/cmop/docs/VAM-planning-mitigation.pdf>.

UNFCCC (2008): Coalmine Methane Utilization Project PDD, Version 2.5, Zhengzhou Coal Industry (Group) Co., Ltd., United Nations Framework Convention on Climate Change, completed 8 August 2008.

<http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/ZG3RM2OP7D5LJVYK C8XB06WH1NIQ94>

UN-ECE-Naciones Unidas - Comisión Económica para Europa. Asociación de Metano para Mercados, 2010. “Guía de Mejores Prácticas para un drenaje y Uso Eficaz de Metano en las Minas de Carbón”. ECE Energy Series 31. http://www.unece.org/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain_es31.pdf.

UN-ECE-Naciones Unidas - Comisión Económica para Europa. Asociación de Metano para Mercados, 2011. Global VAM Project Opportunities. GMI Partnership-Wide Meeting Krakow, Poland 11th – 14th October 2011 Neil Butler, HEL-East Ltd. https://www.globalmethane.org/documents/events_coal_101411_tech_butler.pdf

USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, 2007. VAM Technology in CoalBed Methane Extra Sprint. Energy Developments, Appin & Tower Project, http://www.energydevelopments.com.au/01_cms/details.asp?ID=97.

USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, 2010. U.S. Underground Coal Mine Ventilation Air Methane Exhaust Characterization

USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, (2010). Ventilation Air Methane (VAM) Utilization Technologies. EPA Coalbed Methane Outreach Program Technical Options Series. December 2010. www.epa.gov/cmop.

USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, (2003). Assessment of the Worldwide Market Potential for Oxidizing Coal Mine Ventilation Air Methane.

Megtec Systems Pvt. Ltd. – Energy from Coal Mine Ventilation Air Methane

(UNFCCC ref.1603) Project 1614: Pingdingshan Coal (Group) Co., Ltd. Methane Utilization Project, Henan Province, China.
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1202820539.86/view>

VOLCICH, Antony, a Case Study of an Alternative Approach to coal Mine Site Water Management: West Cliff Colliery NSW, M. ENV. SC.-Res. Thesis, School of Earth and Environmental Sciences, University of Wollongong, 2007.

XUE GUANGWU, LIU HONGFU, LI WEI. Deformed Coal Types and Pore characteristics in Hancheng Coalmines in Eastern Weibei Coalfields. International Journal of Mining Science and Technology 22 (2012) 681 – 686.

XINGUO ZHUANG, X. QUEROL, A. ALASTUEY, F. PLANA, N. MORENO, J.M. ANDRÉS, JIELIN WANG. Mineralogy and Geochemistry of the Coals from the Chongqing and Southeast Hubei coal Mining Districts, South China. International Journal of Coal Geology 71 (2007) 263 -275.

CH₄-COAL

CONSORCIO GEOIL SERGEING-METANO COAL

