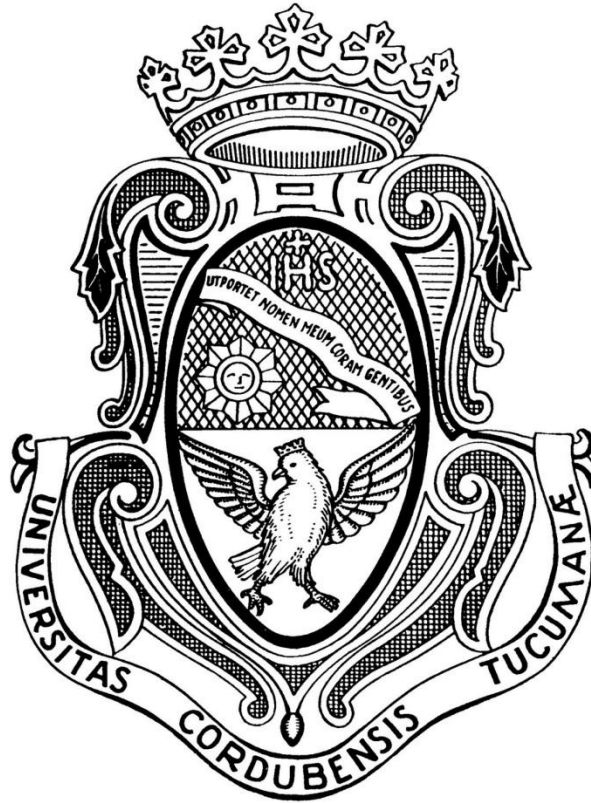


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA.

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES.



PRACTICA SUPERVISADA.

Alternativas de captacion y tratamiento del biogas en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina.

Joaquín González.

Tutor: *Dr. Ing. Marcos A. Montoro.*

Supervisor Externo: *Dra. Ing. Magalí E. Carro Pérez.*

Lugar: *Centro de Vinculación de Ingeniería Geoambiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos.*

Diciembre 2014

RESUMEN.

El siguiente trabajo es parte de una práctica supervisada de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. El objetivo principal consiste en el planteo de las alternativas para la captación y el tratamiento de biogás en el Predio de Enterramiento Sanitario Piedras Blancas. En este sitio se vierten los residuos en la Ciudad de Córdoba y ciudades aledañas. El predio, se encuentra a las afueras de la ciudad y el mismo está operando desde abril del 2010.

Este trabajo forma parte del estudio de Cierre, Clausura y Postclausura del predio realizado por el Centro de Vinculación de Ingeniería Geoambiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos.

En este informe se desarrollan las alternativas de captación y tratamiento del gas generado por la descomposición de residuos en el relleno sanitario. Para ello se plantearon diferentes alternativas geométricas para la red de captación de gases, se analizó las mismas y se seleccionó una configuración matricial. La red seleccionada fue modelada mediante el Software EPANET. A partir de los resultados obtenidos se verificó el funcionamiento hidráulico de la red y que los parámetros de velocidades, caudales y presiones se encontraran dentro de los límites recomendados. La red resultante posee distribución matricial, con una cantidad de 54 pozos verticales de profundidad variable dependiendo la ubicación

Luego se recopila información de distintos sistemas de tratamiento de gases. Para esta predio en particular se plantean dos alternativas: quema controlada en antorchas y quema con recuperación de energía. Se realiza el análisis de costos para ambas alternativas y se determina que la alternativa de quema directa requiere una inversión del orden del 25% comparada con la necesaria para la construcción del sistema de tratamiento con recuperación de energía.

La evaluación financiera de la alternativa con recuperación de energía indica que la misma no es rentable con las condiciones de precios actuales que paga el mercado eléctrico mayorista. Por tal motivo se propuso la realización de un cálculo inverso y se determinó el precio del MWhr que debiera pagar el mercado eléctrico mayorista para que el proyecto presente una tasa de rentabilidad del 12%.

AGRADECIMIENTOS

A las personas que me ayudaran en todo momento con el desarrollo de mi practica supervisada:

Dr. Ing. Marcos A. Montoro.

Dr. Ing. Franco M. Francisca.

A quienes colaboraron con mi trabajo realizado durante este año:

Sr. Manuel Juárez.

Dr. Ing. Julio A. Capdevila.

A quienes siempre me acompañaron durante todo el cursado de la carrera de Ingeniería Civil:

A mis padres: Manuel González y Susana Croce.

A mis hermanos: María, Susana, Manuel, Mariano y Rosario.

Mis cuñados: Carlos, Gabriel, Lucia e Ignacio.

A mis compañeros fundamentales y amigos en estos últimos años de carrera: Bernardo Begue y Mauro Peiretti.

A todos mis amigos por también siempre entender la carrera que estudie, y bancarme en todas, el quinto día.

También quiero agradecerle a Florencia Lascano por ayudarme en este último año de carrera.

Y se la quiero dedicar a todas las personas recién nombradas y además a mis sobrinos: Francisco, Nicolás, Salvador, Carlota, Manuel, Pía, Emilia, Gaspar y Simón.

Índice

Capitulo 1: Introducción	10
1.1. Introducción.....	10
1.2. Estructura del Informe:	11
Capitulo 2: Marco institucional de la PS.....	12
2.1: Practica Supervisada.....	12
2.2: Admisión de becas para trabajos de asistencia técnica.....	12
2.3: Convenio entre la municipalidad de Córdoba y la universidad nacional de Córdoba	14
2.4: Objetivos del proyecto	16
2.5: Descripción general de las tareas realizadas durante la práctica supervisada .	17
Capitulo 3: Marco teórico.....	19
3.1: Introducción.....	19
3.2: Residuos sólidos y vertederos.....	19
3.3: Gestión integral de residuos sólidos urbanos.	19
3.4: Vertederos de residuos sólidos	21
3.5: Funcionamiento de los vertederos.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1: Reacciones que se producen en vertederos.	¡Error! Marcador no definido.
3.6: Clasificación de vertederos, tipos y métodos.	¡Error! Marcador no definido.
3.6.1: Clasificación de vertederos:	¡Error! Marcador no definido.
3.6.2: Tipos de vertederos:	¡Error! Marcador no definido.
3.6.3: Métodos de Vertido:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.4: Balance de agua dentro del vertedero.	¡Error! Marcador no definido.
3.7: Generación de biogás.	23
3.7.1: Razones para el control de biogás.....	24
3.7.2: Factores que afectan la producción de gas.....	25

3.8: Control de gases dentro del vertedero.....	26
3.8.1: Métodos de colección.	27
3.9: Consideraciones sobre el diseño.....	32
3.10: Tratamiento del gas.....	33
3.10.1: Quema sin recuperación de energía.	35
3.10.2: Quema con recuperación de energía.	38
3.11: Síntesis.	41
Capitulo 4: Sitio Piedras Blancas.	42
4.1: Introducción.....	42
4.2: Antecedentes y fuentes de información utilizadas.	42
4.3: Descripción general del sitio.....	42
4.4: Condiciones del sitio cuando se comenzó con el proyecto.	44
4.5: Barrera de fondo en las celdas de enterramiento	44
4.6: Ingreso y tonelaje de residuos en el predio	45
4.7: Composición de los residuos sólidos urbanos.	45
4.8: Disposición y compactación de los RSU.....	46
4.9: Gestión de lixiviados.....	48
4.10: Gestión de gases	49
4.11: Sistema de cobertura	56
4.12: Manejo de la escorrentía superficial.	57
4.13: Clausura.....	59
4.14: Dificultades y observaciones realizadas durante la operación.	60
4.15: Síntesis.	61
Capitulo 5: desarrollo del proyecto.....	63
5.1: Introducción.....	63
5.2: <i>Generación de gas en el vertedero</i>	63

5.3: Generación de condensado.....	64
5.4: Propuesta del sistema de captación de biogás.....	67
5.4.1: Planimetría.....	67
5.4.2: Altimetría	70
5.5: Descripción técnica del sistema de captura y colección de gases.	73
5.6: Distribución de válvulas y bombas.....	77
5.7: Calculo de la línea de energía total en la red.....	80
5.8: Análisis de resultados obtenidos	85
5.9: Síntesis	90
Capitulo 6: Alternativas de tratamiento.	91
6.1: Introducción.....	91
6.2: Alternativa con recuperación de energía	91
6.3: Alternativa sin recuperación de energía.....	92
6.4: Ventajas y desventajas de las alternativas.	95
6.5: Monitoreo	95
6.6: Mantenimiento.....	100
6.7: Cómputo métrico	101
6.8: Evaluación económica.....	104
6.8.1: Presupuesto de las alternativas de tratamiento de gases.	104
6.9: Flujo de caja.....	108
6.10: Síntesis.	112
Capitulo 7: Conclusiones.	113
7.1: Recomendaciones.....	115
BIBLIOGRAFIA.....	116

Índice de Tablas.

Tabla 1: Composición típica de gas de vertederos de RSU (Sharma y Reddy 2004) ..	24
Tabla 2: Consumo de agua para la reacción de degradación de los diferentes componentes de los residuos (Machado et al. 2009).	27
Tabla 3: Composición promedio de los residuos sólidos urbanos dispuestos en el predio de Piedras Blancas (Referido al peso seco de los RSU).	46
Tabla 4: Valor Umbral de Información Pública (Reglamento 166/2006 (Parlamento Europeo, 2006) y Real Decreto 508/2007 (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007)) y valores analizados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas	55
Tabla 5: Límites de la Directiva TA-Luft (1996) y análisis del gas de venteo del Relleno Sanitario de Piedras Blancas.	55
Tabla 6: Características técnicas de los equipos necesarios para el tratamiento de gases.	94
Tabla 7: Valores de referencias de los parámetros a monitorear en las corrientes gaseosas luego de la quema del biogás.	99
Tabla 8: Contaminantes de Potencial Preocupación usualmente encontrados en Gases de Rellenos Sanitarios.	100
Tabla 9: Cómputo métrico de alternativa de tratamiento con recuperación de energía	102
Tabla 10: Cómputo métrico de la alternativa sin recuperación de energía.	103
Tabla 11: Costos estimados para la construcción de la red de colección de gases y quema de los mismos con generación de energía eléctrica.	106
Tabla 12: Costos estimados para la construcción de la red de colección de gases y quema de los mismos.	107
Índice de Tablas	

Índice de Figuras.

Figura 1: Triangulo invertido que muestra la jerarquía de un sistema GIRSU.	21
Figura 2: esquema común de un vertedero.....	22
Figura 3: sistema de impermeabilización de fondo. (EPA, 1993)	22
Figura 4: esquema de operación y procesos en vertederos (Tchobanoglous et al. 1993).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5: Métodos de vertido: 8ª) celda/zanja excavada, (b) zona, y (c) vaguada/depresión.(Tchobanoglous 1993).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6: composición típica de un pozo vertical de extracción activa.....	29
Figura 7: composición típica de un pozo vertical de extracción pasiva.....	30
Figura 8: Sistema de colección de gas por manta.....	30
Figura 9: Trinchera perimetral.....	31
Figura 10: Sistema de colección por trincheras horizontales.....	32
Figura 11: Antorcha tipo abierta de 350 m ³ /h de biogás.....	36
Figura 12: Antorcha tipo cerrada.....	37
Figura 13: Aislación refractaria en una antorcha.....	38
Figura 14: Componentes de una antorcha cerrada.....	39
Figura 15 (a) y (b): Tren de calibración y los componentes.....	41
Figura 16: Ubicación del predio dentro de la ciudad y alrededores.....	43
Figura 17: esquema de la barrera de fondo.....	44
Figura 18: predio Piedras Blancas, diversidad de residuos.....	47
Figura 19: predio Piedras Blancas, movimiento de suelo.....	48
Figura 20: bermas en el vertedero, a la derecha de la misma se encuentra el lixiviado.	49
Figura 21: Variación temporal de metano en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.....	51

Figura 22: Variación temporal de dióxido de azufre en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.	52
Figura 23: Variación temporal de sulfuro de hidrógeno en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.	53
Figura 24: Variación temporal de monóxido de carbono en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.	53
Figura 25: Variación temporal de óxidos de nitrógeno en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.	54
Figura 26: Alternativas de cobertura superior.	58
Figura 27. Alternativas seleccionadas para el sistema de cobertura. a) Alternativa 1 (Ordenanza 9612/97), b) Alternativa 2 (EPA 1998).	59
Figura 28: propuesta paisajística.	61
Figura 29: Diagrama Psicrometrico.	66
Figura 30: Caudales de condensado generados para diferentes contenidos de vapor de agua en el biogás considerando temperatura ambiente media de 17,5° C.	66
Figura 31: Alternativa de distribución de pozos considerando tuberías horizontales en espina de pescado y pozos distribuidos a tresbolillo.	68
Figura 32: Alternativa considerando conductos horizontales formando espina de pescado con pozos verticales en cada extremo de las tuberías y en los nudos de las tuberías horizontales.	69
Figura 33: Alternativa considerando distribución matricial, tres conductos horizontales longitudinales principales y ubicación de pozo en cada nudo.	70
Figura 34: Cortes longitudinales del vertedero donde se aprecian pendientes de los caños horizontales.	72
Figura 35: Detalle constructivo de los pozos de captura de gas.	75
Figura 36: Detalle de ubicación de válvulas y cámara de inspección.	76
Figura 37: Detalle unión tubería – geomembrana superior.	77
Figura 38: Curvas características de los sopladores Mapro.	79
Figura 39: Ejercicio planteado. (Streeter y Wylie 1994).	81

Figura 40: Resolución problema en el EPANET 2.0.....	81
Figura 41: Modelo de la red de captación de gases.....	84
Figura 42: Esquema con curva de presiones en la red, con un caudal de 0.49m ³ /h. (EPANET 2.0).....	86
Figura 43: Resultados de altura total en nodos en metros de columna de agua equivalentes y caudales en cada rama de la red de captación de gases para la situación de caudal promedio	88
Figura 44Figura 43: Resultados de velocidad de flujo en las distintas ramas de la red de captación de gases.....	89
Figura 45: Alternativa de tratamiento de gases con recuperación de energía.....	92
Figura 46: Alternativa de tratamiento de gases sin recuperación de energía.....	93
Figura 47: Detalle pozo de monitoreo de gases.....	98
Figura 48: flujo de fondo del proyecto con generación.....	109
Figura 49: ingresos y egresos a en función del tiempo	110
Figura 50: ingresos y egresos con subsidio a lo largo del tiempo.....	111

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo trata sobre las actividades, trabajos y experiencias profesionales, llevadas a cabo dentro del desarrollo de la asignatura práctica supervisada de la carrera de ingeniería civil, la misma se hizo gracias a una beca dada por el centro de Vinculación en Ingeniería Geoambiental, Medios Porosos y Flujos subterráneos.

El tema general de este trabajo son los residuos, tema muy importante hoy en día a nivel mundial. La basura es un gran problema de todos los días y un drama terrible para las grandes ciudades que ya no saben qué hacer con tantos desperdicios. Traen problemas como malos olores, infecciones, enfermedades y contaminación ambiental. Además de constituir un problema de recolección y almacenamiento que cuesta mucho dinero.

A estos problemas que vienen dados por la generación de residuos, es necesario darle alguna solución, que tenga la mayor cantidad de beneficios posibles y el menor costo económico, para que pueda ser ejecutado. La solución comienza en cada uno, asumiendo cierta responsabilidad con respecto a este tema, esto podría ser generando una cantidad menor de residuos, reutilizando o reciclando parte de los mismos. En el caso que no se pueda reutilizar ni reciclar en origen, se puede realizar una separación en origen de los residuos para facilitar y reducir costos de tratamiento.

En este trabajo se desarrolla una serie de alternativas para mitigar este problema tan grave que es el vertido sin ningún tratamiento previo, no solo a nivel local sino también a nivel mundial. En Argentina hay poca costumbre de reducir y reciclar los residuos en origen, además no se cuenta con un sistema de recolección diferenciada en la totalidad del país, lo que hace que los tratamientos posteriores sean más costosos no solo en lo económico sino también a nivel social generando a su vez mayor impacto ambiental.

En los países en vías de desarrollo el sistema de Gestión de Residuos en general consta de recolección mixta y disposición final. Recién en las últimas décadas se está prestando mayor atención al correcto diseño de los predios de disposición final atendiendo a los requerimientos de las normativas internacionales respecto de las barreras impermeables inferiores y de cobertura.

Los residuos dispuestos en los enterramientos controlados sufren una serie de procesos de descomposición y degradación. Como resultados de esos procesos se generan importantes cambios de volumen de los residuos dispuestos en el predio, en tanto que las reacciones físico – químicas producen como resultado la generación de líquidos lixiviados y gases.

Los líquidos lixiviados y gases deben ser gestionados de manera adecuada para prevenir los potenciales impactos en el ambiente. Desde este punto de vista un vertedero correctamente diseñado debe contar con una red de tuberías para captación de lixiviados y planta para el tratamiento de los mismos. De la misma forma se debe contar con sistema de tuberías para la captura y conducción de gases para el posterior tratamiento de los mismos.

En este trabajo se realizará la descripción de las operaciones en el predio de enterramiento sanitario transitorio de la Ciudad de Córdoba y área de influencia denominado Piedras Blancas. En función del análisis de las operaciones y las características de los materiales que se disponen se realizará el anteproyecto del sistema de gestión de gases.

1.2. ESTRUCTURA DEL INFORME:

En el Capítulo 2 se presenta el marco general en el que se desarrolló la Práctica Supervisada.

En el Capítulo 3 se introduce el marco teórico general de los residuos sólidos, los vertederos, de los gases y su forma de captación y tratamiento.

En el Capítulo 4 se presentan las características principales del predio y se describe la operación del mismo.

En el Capítulo 5 se introducen las condiciones del diseño de la red de captura de gases y se desarrolla el anteproyecto de esta red.

En el Capítulo 6: se desarrollan las alternativas de tratamiento de los gases y se realiza el análisis económico de la construcción y operación de las mismas.

En el Capítulo 7 se resaltan las principales conclusiones a las que se arribó en este trabajo y se formulan recomendaciones a partir de ellas.

CAPITULO 2: MARCO INSTITUCIONAL DE LA PS.

2.1:PRACTICA SUPERVISADA

La asignatura Practica Supervisada es una de las asignaturas del 5to año de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Esta asignatura consta de dos etapas diferentes, en principio la obligación de realizar alguna practica pre-profesional supervisada en el sector productivo o de servicios afín con alguna rama de la carrera con una carga horaria de al menos 200 hs. de trabajo. Y la segunda etapa, complementaria de la primera, consta de la realización de un informe técnico que constituye el marco de referencia teórico del trabajo realizado anteriormente, quedando de esta manera asentadas las diferentes etapas del desarrollo de la práctica supervisada: introducción en el tema, recolección de información, presentación de problema, propuesta de alternativas, soluciones adoptadas y conclusión personal del alumno. Esto finalmente se expone frente a un tribunal de docentes que evaluarán el trabajo realizado.

2.2:ADMISIÓN DE BECAS PARA TRABAJOS DE ASISTENCIA TÉCNICA.

La presente Práctica supervisada se desarrolló en el marco del proyecto del cierre, clausura y posclausura del vertedero de Piedras Blancas bajo la modalidad PSPI/B (Práctica Supervisada Pasante Interno/Becario).-

Esta práctica se llevó a cabo en el centro de Vinculación en Ingeniería Geoambiental, Medios Porosos y Flujos subterráneos, mediante el régimen de promoción de becas establecido mediante resolución N° 306 -HCD- 2009 de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

El Centro de Vinculación de Ingeniería Geoambiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos tiene como principal función promover y ejecutar actividades de desarrollo, transferencia y de servicios en el área de la geotecnología ambiental. Las líneas de trabajo en las que se especializa en dicho centro son:

- Geotecnia Ambiental.
- Remediación de sitios contaminados.
- Modelación numérica de transporte de contaminantes y remediación de acuíferos.
- Disposición y aislación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

- Proyectos de Ingeniería Geotécnica.

El Centro de Vinculación fue constituido el 29/10/2010, por resolución 988-HCD-2010 el mismo es dirigido por Dr. Ing. Franco M. Francisca.

El equipo de trabajo que desarrolló el proyecto del cual forma parte esta PS estuvo integrado por:

- Dr. Ing. Franco M. Francisca
- Dr. Ing. Marcos A. Montoro
- Dr. Ing. Magalí E. Carro Pérez
- Dr. Ing. Daniel A. Glatstein
- Dr. Ing. Victor A. Rinaldi
- Mg. Ing. Gerardo Hillman.
- Dr. Ing. Julio A. Capdevila

Colaboradores:

- Augusto Barraud.
- Bernardo Begué Aliaga.
- Joaquín González.
- Manuel Alejandro Juárez.
- Daniela Cemino.
- Vanina Vico.

El centro cuenta con diferentes proyectos en la actualidad, se pueden mencionar algunos en los cuales trabaja:

- Estudio de Impacto ambiental del proyecto del Centro de Tratamiento y Disposición final de Residuos Sólidos Urbanos del Área Metropolitana de Córdoba, destinatario Cormecor.
- Estudio para el aprovechamiento de biogás en el predio de Piedras Blancas, proyecto del cual forma parte esta PS, y este trabajo sea realiza para la Municipalidad de Córdoba.

2.3:CONVENIO ENTRE LA MUNICIPALIDAD DE CÓRDOBA Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

El proyecto del cual forma parte esta PS, surge a partir de un convenio específico celebrado entre la Municipalidad de la Ciudad de Córdoba y la Universidad Nacional de Córdoba. Mediante el mismo se encomienda a la Universidad que realice los estudios necesarios para el Proyecto de Cierre, Clausura y Postclausura del Enterramiento Sanitario de Piedras Blancas, Sitio donde actualmente se disponen los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Córdoba y de otros municipios del área metropolitana de la Ciudad de Córdoba..

Este convenio se firmó en octubre del 2013, y fue aprobado por la Resolución Rectoral Nº 2327. El objeto del mismo es prestar apoyo y asistencia técnica para el proyecto de cierre del enterramiento. El mismo consta de 3 etapas, los objetivos de cada una se pueden resumir de la siguiente forma:

Etapas: Estudio de cierre, clausura y postclausura del sitio.

1. Recopilación y análisis de información existente.
2. Definición de programa y confección de términos de referencia para completar la caracterización ambiental del predio y alrededores.
3. Análisis del proyecto de las celdas actuales y reevaluación del sistema de cobertura, incluyendo el desarrollo de especificaciones técnicas para la materialización o construcción de las mismas.
4. Verificación de estabilidad local y general de las celdas con la configuración actual y la estimación de la estabilidad con la propuesta de cierre del predio.
5. Estudio de asentamientos esperados que pudieran ser limitantes para el posterior uso del predio.
6. Estudio topográfico y de la hidrología local para el manejo de las escorrentías superficiales.
7. Estudio de las vías de circulación
- 8, Evaluación de prefactibilidad de generación de biogás, lo cual incluye:
 - a. Recopilación de antecedentes y normativas relacionadas.

- b, Evaluación preliminar de potencialidad de generación de gas a partir de tipología de residuos y operaciones del sitio.
 - c. Ejecución de 2 sondeos con extracción de muestras para su caracterización.
 - d. Prospección geofísica (sondeo eléctrico vertical) para evaluar de manera no destructiva el perfil de una celda y la condición del terreno por debajo de la misma.
 - e. Determinación numérica del potencial de generación de gas para las condiciones del predio.
9. Estudio de alternativas para el cierre. Se analiza la prefactibilidad técnica con ventajas y desventajas de cada una y una vez determinada la conveniencia de alguna se desarrolla la misma.
10. Propuesta de diferentes alternativas de uso para el relleno sanitario una vez efectuadas las tareas del cierre definitivo.
11. Definición del plan de cierre, clausura y posclausura.
12. Definición de un programa de monitoreo para el predio y alrededores.
13. Desarrollo de las especificaciones técnicas para cada una de las actividades involucradas en la acción de cierre, clausura y monitoreos posteriores (técnicas, puntos de muestreo, frecuencia, plan de acción ante posibles eventos negativos, otros).
14. Divulgación y difusión de las actividades técnicas realizadas para el cierre del sitio con agentes locales claves (escuelas, ONG, centros comunitarios, etcétera).
15. Sondeo con agentes locales sobre necesidades y posibilidades de uso del sitio postclausura.
16. Informe técnico con el desarrollo completo del trabajo encomendado incluyendo:
- a. Memoria descriptiva.
 - b. Memoria técnica.
 - c. Cálculos realizados.
 - d. Documentación gráfica incluyendo archivos en CAD con planta general topografía actual, topografía de diseño o final, y perfiles transversales cada 25 metros en el sector de las celdas y cada 50 metros en los demás sectores.
 - e. Planos de planta general, cortes y de detalles de instalaciones requeridas para el predio en función del uso definido.

- f. Planta con definición de usos de suelo y red de circulación.
- g. Cómputo.

Etapa 2: Se desarrollará previa solicitud expresa de la Municipalidad de Córdoba y en caso de que sea factible el aprovechamiento de biogás:

1. Prospección geofísica mediante sondeos eléctrico vertical de las celdas para evaluar de manera no destructiva el perfil de una celda y la condición del terreno por debajo de la misma.
2. Análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos con los modelos.
3. Diseño del sistema de colección de gases.
4. Estudio de anteproyecto de planta de generación de electricidad a partir del biogás generado.
5. Evaluación para determinar la factibilidad económica y/o costos aproximados del proyecto.
6. Confección de planos, memorias de cálculo, cómputos e informe técnico a nivel de anteproyecto.

Etapa 3: Se desarrollará previa solicitud expresa de la Municipalidad de Córdoba y en caso de que sea necesario la construcción de una planta de tratamiento de lixiviados y efluentes

1. Estudio de antecedentes.
2. Evaluación y análisis del efluente o lixiviado generado. Estimación de volúmenes.
3. Definición de la tecnología y procesos de tratamiento necesarios.
4. Diseño de la planta de tratamiento.
5. Confección de planos, memorias de cálculo, cómputos e informe técnico.

2.4:OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos generales del proyecto en el cuál se desarrolló esta práctica supervisada se resumen de la siguiente manera:

- Brindar información técnica sobre el desempeño de sistemas de coberturas para celdas de enterramientos sanitarios y el análisis de la alternativa de cobertura más

conveniente para el sitio denominado “Piedras Blancas”, considerando las restricciones particulares para el desarrollo del cierre final de este predio.

- Estimar el volumen de lixiviados que se generarán en el predio a partir de balances hídricos del relleno sanitario, a efectos de recomendar sobre la/s mejores alternativas para el manejo y tratamiento de los líquidos lixiviados.
- Estimar la potencialidad de generación de biogás en el sitio a efectos de recomendar sobre la/s mejores alternativas para el manejo, tratamiento y/o posible aprovechamiento del mismo.
- Proponer alternativas de usos pos-clausura.
- Proponer un programa de monitoreo ambiental pos-clausura.

2.5:DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TAREAS REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

Todas las tareas realizadas en este proyecto fueron llevadas a cabo en el Centro de Vinculación de Ingeniería Geoambiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (UNC) y el Instituto Superior de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Córdoba.

Las principales tareas desarrolladas en esta práctica supervisada se resumen a continuación:

- Confección de planos generales y de detalle de los sistemas de cobertura propuestos para el predio de enterramiento.
- Análisis de la información relacionada a la clasificación y propiedades de los residuos sólidos dispuestos en el sitio.
- Análisis de los resultados de las determinaciones de venteo y composición de gas informados realizados por CIQA – UTN.
- Planteo del sistema de captura del gas en las celdas y red de conducción hasta punto de tratamiento siguiendo las recomendaciones generales del manual del cuerpo de Ingenieros del ejército de Estados Unidos, USACE EM 200-1-22.
- Confección de un modelo computacional utilizando EPANET para verificar el comportamiento hidráulico de la red de captación de gases propuesta.
- Propuesta de alternativas de tratamiento de los gases capturados.
- Cómputo y presupuesto de las alternativas.

*Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas,
Córdoba.*

- Evaluación económica del sistema propuesto.
- Participación en la confección de, planos, memorias descriptivas y de cálculo correspondientes.

CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO.

3.1:INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se presentan las definiciones técnicas de los elementos tratados en todo el trabajo. Se comienza con la definición de los residuos sólidos, su correcto sistema de gestión desde que se recolectan hasta su vertido. Se realizara una detallada definición de los vertederos, sus componentes, sus usos, la forma de protección con la que deben contar y los diferentes métodos de vertido que existen.

También se introduce en el concepto de gases generados dentro de un vertedero, propiedades, composición y los factores que afectan su generación. Por último en este capítulo se describen los métodos disponibles para la captación y el tratamiento de los gases generados.

3.2:RESIDUOS SÓLIDOS Y VERTEDEROS.

Históricamente, los vertederos han sido el método más económico y ambientalmente aceptable para la evacuación de residuos sólidos en Estados Unidos y en todo el mundo (Tchobanoglous et al. 1993). Incluso con la implementación de la reducción de residuos, del reciclaje y de las nuevas tecnologías de transformación, la evacuación en vertederos sigue siendo un componente importante dentro de una estrategia para la gestión integral de los RSU.

La generación de residuos, abarca las actividades en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional.

La gestión de vertederos implica la planificación, diseño, explotación, clausura y control pos-clausura del predio.

3.3:GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Las actividades asociadas a la gestión de residuos sólidos, desde el punto de generación hasta evacuación final, han sido agrupados en seis elementos funcionales: 1) generación de residuos; 2) manipulación y separación de residuos, almacenamiento y procesamiento en origen; 3) recogida; 4) separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos; 5) transferencia y transporte; 6) evacuación. Cuando todos estos elementos han sido agrupados, se dice que la comunidad ha desarrollado un sistema integral de gestión de residuos. En este contexto, la *gestión integral de residuos sólidos urbanos* (GIRSU) puede ser definida como la selección y

aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos.

Esta idea puede graficarse en la Figura 1 con una distribución en forma de triángulo invertido, estos son los pasos a seguir para obtener una gestión integral:

Reducción en origen: implica la reducción y/o toxicidad de los residuos que son generados en origen, es la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuo

Reciclaje: factor importante que ayuda a reducir la demanda de recursos y la cantidad de residuos que requieran la evacuación mediante vertido.

Transformación de residuos: alteración física, química o biológica de los residuos. Estas alteraciones se suelen aplicar para: mejorar eficiencia de las operaciones y sistemas de gestión, para recuperar materias reutilizables y reciclables, y para recuperar productos de conversión (por ejemplo, el compost), y energía en forma de calor y biogás recuperable.

Vertido: para el material sobrante, cualquiera sea su origen, hay solo dos alternativas disponibles para la manipulación a largo plazo de los residuos sólidos y materia residual: evacuación encima o dentro del manto de la tierra y evacuación en el fondo del océano. El vertido, en la cuarta posición de la jerarquía de los GRSU, implica la evacuación controlada de los residuos encima o dentro del manto de tierra y es el método más común para la evacuación de residuos. Es la forma menos deseada por la sociedad para tratar los RSU.

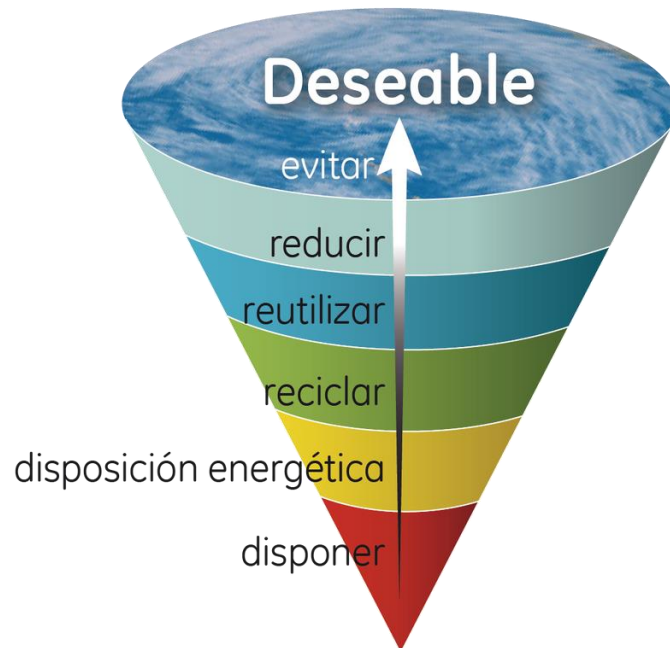


Figura 1: Triángulo invertido que muestra la jerarquía de un sistema GIRSU.

3.4: VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS

Un **vertedero** es un lugar destinado a la disposición final de desechos, en el cual se pretenden tomar múltiples medidas para reducir los problemas generados por otro método sin ningún tratamiento. Dichas medidas son, por ejemplo, el estudio meticuloso de impacto ambiental, económico y social desde la planificación y elección del lugar hasta la vigilancia y estudio del lugar en toda la vida del vertedero.

Para construir un relleno sanitario es importante seleccionar el terreno que reúna condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel a que se encuentran las aguas subterráneas, disponibilidad de material para cubrir la basura, accesibilidad de los vehículos de transporte y distancia desde los centros de generación de residuos.

El enterramiento de residuos en vertederos controlados es un método de ingeniería para la disposición de los mismos de manera segura para el ambiente. El método se basa en la impermeabilización del terreno afectado y la disposición de los residuos en capas compactadas y cubriendo las capas con material extraído del lugar entre capas, previniendo los efectos adversos en el medio ambiente.

En lo que respecta a la impermeabilidad de los vertederos, se debe hablar tanto del sistema de fondo como del sistema de cobertura superficial. Ambos sistemas tienen

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

diversas funciones como las de impedir la entrada y salida de líquidos, la salida del gas que se genera en el relleno sanitario principalmente. En la Figura 2 se muestra un esquema de un vertedero para entender el funcionamiento.



Figura 2: esquema común de un vertedero. FerranRelea(2011)

Además se muestra en la Figura 3 como puede ser un sistema de impermeabilización de fondo recomendado por EPA (1993).

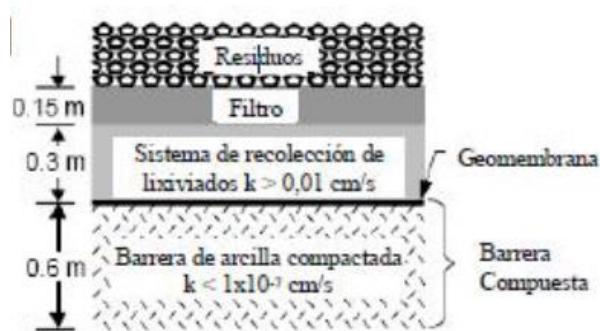


Figura 3: sistema de impermeabilización de fondo. EPA (1993)

3.5: GENERACIÓN DE BIOGÁS.

El gas producido en un vertedero es una secuencia de procesos físicos, químicos y biológicos desarrollados dentro del mismo. La composición del gas depende fuertemente de la composición y la antigüedad de los residuos depositados. El gas de vertedero está compuesto de varios gases que están presentes en grandes cantidades (gases principales) y de varios gases que están presentes en pequeñas cantidades (oligogases). Generalmente el gas de vertedero consiste en aproximadamente un 50% de gas metano (CH₄) y un 50% de dióxido de carbono (CO₂) (US EPA, 2005; Sharma y Reddy, 2004). En la Tabla 1 se muestra la composición típica de los gases que se pueden encontrar en un vertedero de RSU.

Los componentes principales del gas son el metano y dióxido de carbono, aunque más de cien compuestos diferentes fueron identificados en gases extraídos de diferentes vertederos (Tchobanoglous et al. 1993). El metano es un potente gas de efecto invernadero, siendo su potencial de calentamiento global 21 veces mayor que el dióxido de carbono (Ministry of Environment Ontario, 2008). Ambos componentes principales son gases asfixiantes y en el caso del metano también inflamable (Irlanda EPA, 2000). Es por esto que existe un interés en su recolección y tratamiento.

Contar con un adecuado sistema de gestión de gases en las instalaciones de los vertederos de residuos sólidos urbanos durante la operación y luego de la clausura de los mismos es de fundamental importancia por los impactos que pueden tener el manejo incorrecto de los gases en el entorno, entre los más importantes se pueden citar (USACE, 1995):

3.5.1: Razones para el control de biogás.

La siguiente es una lista de razones comunes para controlar el biogás producido por un vertedero:

- El gas metano es altamente combustible generando un riesgo importante en el sitio e inmediaciones del sitio de disposición final de residuos.
- El gas puede infiltrar a través del suelo y migrar distancias significativas, expandiendo los riesgos.
- Dependiendo de la tasa de generación de gas, puede aumentar la presión en el depósito de residuos generando daños estructurales a las coberturas o a las barreras de fondo.

- El gas metano en grandes concentraciones presenta riesgos para seres humanos y animales.
- La migración del gas en los poros del suelo puede causar problemas en la vegetación circundante del sitio por menor disponibilidad de oxígeno para las raíces.

Tabla 1: Composición típica de gas de vertederos de RSU (Sharma y Reddy 2004)

Componente	Porcentaje (base volumen seco)
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrógeno	2 – 5
Oxígeno	0,1 – 1,0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc.	0 – 1,0
Amoníaco	0,1 – 1,0
Hidrógeno	0 – 0,2
Monóxido de carbono	0 – 0,2
Constituyentes en cantidades traza	0,01 – 0,6
Características	Valor
Temperatura	37 – 67° C
Densidad específica	1,02 – 1,06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico superior [Kcal/m ³]	890- 1,223

3.5.2: Razones para el control de biogás.

La siguiente es una lista de razones comunes para controlar el biogás producido por un vertedero:

- El gas metano es altamente combustible generando un riesgo importante en el sitio e inmediaciones del sitio de disposición final de residuos.
- El gas puede infiltrar a través del suelo y migrar distancias significativas, expandiendo los riesgos.
- Dependiendo de la tasa de generación de gas, puede aumentar la presión en el depósito de residuos generando daños estructurales a las coberturas o a las barreras de fondo.

- El gas metano en grandes concentraciones presenta riesgos para seres humanos y animales.
- La migración del gas en los poros del suelo puede causar problemas en la vegetación circundante del sitio por menor disponibilidad de oxígeno para las raíces.
- El gas generado en el vertedero y venteado directamente a la atmósfera tiene olores desagradables generando impacto en los vecinos al predio.

3.5.3: Factores que afectan la producción de gas.

Para lograr un buen sistema de gestión de gases resulta necesario estimar el volumen de gas que puede producir un sitio en particular. Por otro lado el dimensionamiento de las tuberías y equipos para tratamiento y aprovechamiento de gas requiere una estimación del caudal, composición del gas generado y la variabilidad de este caudal y composición con la antigüedad del vertedero.

La generación de gases en los vertederos es afectada por los siguientes factores (USACE 1995):

1. Disponibilidad de nutrientes
2. Temperatura
3. Humedad
4. pH
5. Condiciones atmosféricas
6. Edad de los residuos

Disponibilidad de nutrientes: las bacterias en los vertederos requieren la presencia de diferentes tipos de nutrientes para desarrollarse, los principales o macronutrientes incluyen carbono, hidrógeno, nitrógeno y fósforo, los micronutrientes o los que se requieren en menor cantidad incluyen sodio, potasio, sulfuro, calcio y magnesio. La disponibilidad de nutrientes afecta la cantidad de agua que se genera y la composición del gas. Los vertederos que utilizan suelo como cobertura diaria tienen un aporte adecuados de nutrientes para los procesos microbiológicos.

Temperatura: influencia el tipo de bacteria que es dominante y el nivel de producción de gas. La temperatura óptima para la descomposición aeróbica se

encuentra en el rango entre 54 a 71° C mientras que para la descomposición anaeróbica se encuentra entre 30 y 41° C.

Humedad: es el parámetro más importante relativo al procedimiento de descomposición y la producción de gas. Altos contenidos de humedad (50 a 60%) favorece la generación de metano.

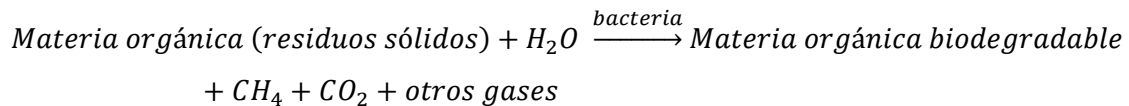
pH: el pH de los residuos se suele encontrar en el rango entre 5 a 9. pH bajos generan condiciones ácidas que pueden remover metales que se convierten en tóxicos para las bacterias encargadas de la degradación.

La generación de gas se produce por tres mecanismos diferentes:

1. Evaporación/volatilización
2. Reacciones químicas
3. Degradación biológica

De todos los mecanismos el más importante en la generación de gas es el de degradación biológica.

La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la forma siguiente:



De acuerdo a la reacción de formación de gas, para que la misma ocurra se requiere consumo de agua. La cantidad de agua necesaria para la producción de gas, depende del tipo de residuo. En la Tabla 2 se muestra la cantidad de agua requerida en base a peso de residuo seco para degradar los distintos componentes típicos de un residuo.

3.6:CONTROL DE GASES DENTRO DEL VERTEDERO.

Una vez calculado la cantidad total de gas que se va a generar en el vertedero a lo largo de la vida útil del mismo, ya se tiene el dato de entrada fundamental para la etapa de captación y tratamiento del gas.

Dentro del vertedero se controlan los movimientos de los gases para reducir las emisiones atmosféricas, para minimizar la salida de emisiones olorosas, para minimizar la migración subsuperficial del gas, y para permitir la recuperación de energía a partir del metano.

Tabla 2: Consumo de agua para la reacción de degradación de los diferentes componentes de los residuos (Machado et al. 2009).

Componente orgánico del residuo	Consumo de agua en Kg por Kg de residuo seco.
Residuo de comida	0.26
Papel	0.20
Cartón	0.16
Textil	0.41
Cuero	0.64
Residuos de jardín	0.28
Madera	0.24

Los sistemas de control se pueden clasificar en 2 grandes grupos: control pasivo y control activo de gases. El sistema pasivo le permite al biogás salir del sistema de recogida sin asistencia mecánica, mientras que un sistema activo utiliza una asistencia mecánica, tal como sopladores, para extraer el biogás de forma forzada. Dependiendo del potencial daño para la salud y los riesgos ambientales, el biogás pueden ser descargados directamente a la atmósfera o recogidos para su posterior tratamiento.

3.6.1: Métodos de colección.

El gas se recoge generalmente usando pozos de extracción, mantas, o trincheras. A continuación se describen los principales aspectos técnicos de cada uno de los sistemas.

Pozos: estos sistemas consisten en una serie de pozos verticales de extracción de biogás (tubos de recogida perforados o ranurados) que penetran cerca de la parte inferior del vertedero o cerca de la profundidad de los residuos saturados. Los pozos verticales se recomiendan para los vertederos o porciones de los vertederos que exceden 12 m (40 pies) de profundidad. Un buen diseño requiere una estimación de la tasa de producción de biogás y el radio de influencia de los pozos.

Un sistema de pozos, ya sea activa o pasiva, es útil para capas de vertederos donde se impide la migración vertical de biogás. Debido a la variabilidad de los vertidos de residuos, los procedimientos de diseño son difíciles de aplicar a los sistemas de recolección de biogás.

Los pozos de captación vertical de biogás se suelen instalar una vez que las operaciones de llenado han sido completadas, y están separados comúnmente a una frecuencia de uno cada 4 mil metros cuadrados. Los mismos se construyen utilizando un equipo de perforación tipo barreno. Como regla general, donde la eficiencia de colección de biogás es importante, por lo general es aconsejable desarrollar una red más estrecha de la extracción, con separaciones más pequeñas que funcionen con menor nivel de vacío. El nivel de vacío debe representar un equilibrio razonable entre la maximización de las zonas de influencia de cada pozo y la minimización de la intrusión de aire a través de la cobertura en los sitios que funcionen a niveles más altos de vacío. La intrusión de aire atmosférico podría crear un riesgo de incendio vertedero o explosión. El radio de la zona de captura en el pozo vertical de extracción puede variar de alrededor de 15m a 60m. Las tasas de recuperación de biogás a partir de un pozo de extracción pueden variar desde aproximadamente $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ a $1.5\text{m}^3/\text{s}$.

Los pozos se pueden utilizar tanto en sistemas de captación activa como pasiva:

Activo: El método de construcción y componentes de pozos de extracción de biogás activos son similares a las de monitoreo de agua subterránea o pozos de extracción de agua (es decir, tubería y grava alrededor).(Figura 4).

Pasivo: Un sistema pasivo debe ventilar bien, debe ser similar en diseño a una extracción activa. La tubería debe ser construida de PVC o polietileno de alta densidad y deben tener un mínimo de 100 mm (4 pulgadas) de diámetro. La tubería debe ser colocada en el centro del pozo (de un diámetro de 300-600 mm (1 a 2 pies)) y relleno con grava a un nivel de 0,3 a 1 (3 pies) m por encima de la tubería o sección ranurada. El resto del agujero debe ser relleno de una manera similar a un sistema activo de ventilación. (Figura 5).

Manta: un sistema de recogida de manta continua construida de arena o grava en un mínimo de 0,3 m (12 pulgadas) de espesor debe estar situado por debajo de la capa de barrera impermeable superior. También se puede utilizar una manta de geosintéticos con propiedades de transmisibilidad equivalentes. Un sistema continuo de manta permitirá la libre circulación de biogás cualquiera sea el sistema de recogida o de salida de los tubos. Los tubos de salida verticales deben transportar el biogás recolectado debajo de la cubierta del relleno sanitario. El número de ventilación debe reducirse al mínimo y normalmente están separadas unos 60 m (200 pies) de

distancia. Esto proporciona aproximadamente un respiradero cada 4 mil metros cuadrados.

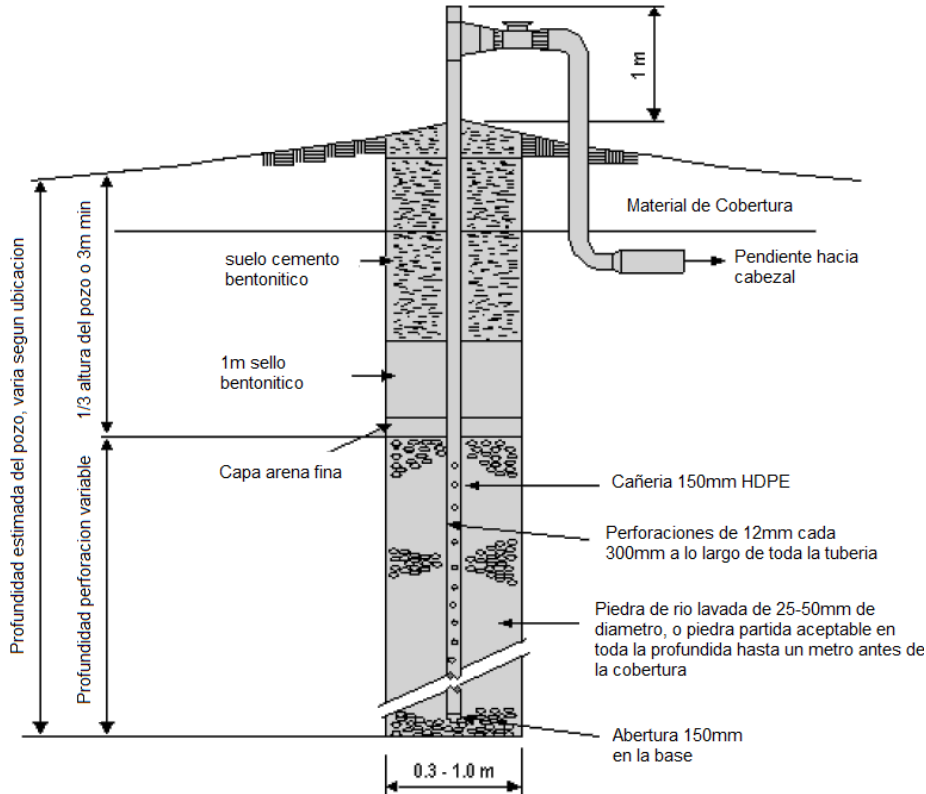


Figura 4: composición típica de un pozo vertical de extracción activa EPA (2013).

Tuberías de recolección horizontal, también perforadas puede ser incorporadas en el diseño de cualquiera de los sistemas de manta pasivos o activos.

Se puede utilizar una capa de filtro geotextil para evitar la obstrucción en la colección de biogás con el material de la manta. Los sistemas de manta continua son eficaces para prevenir la acumulación de excesiva presión debajo de la capa de baja permeabilidad del sistema de cobertura. Son menos eficaces en la prevención de la migración fuera de las instalaciones del biogás, ya que no hay pozos fuera del vertedero. Los pozos de biogás o zanjas perimetrales deben ser utilizados generalmente si el gas puede migrar fuera del sitio. (Figura 6).

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

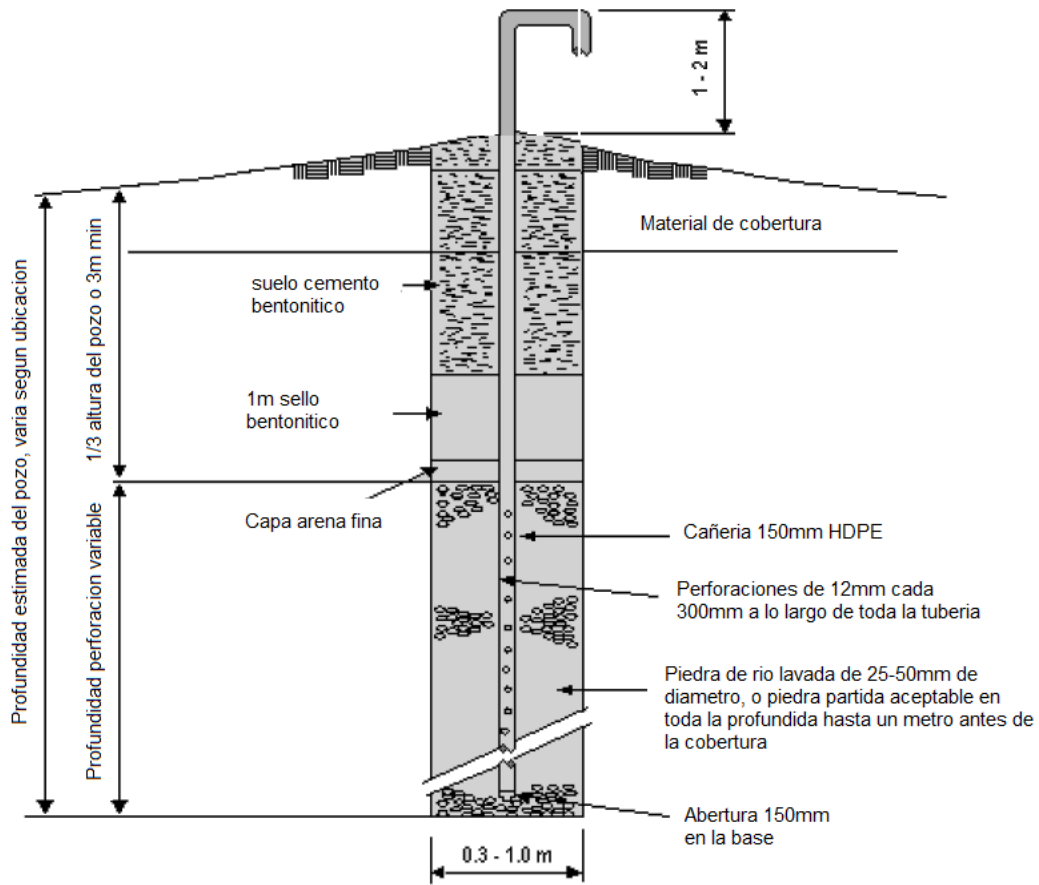


Figura 5: composición típica de un pozo vertical de extracción pasiva EPA (2013).

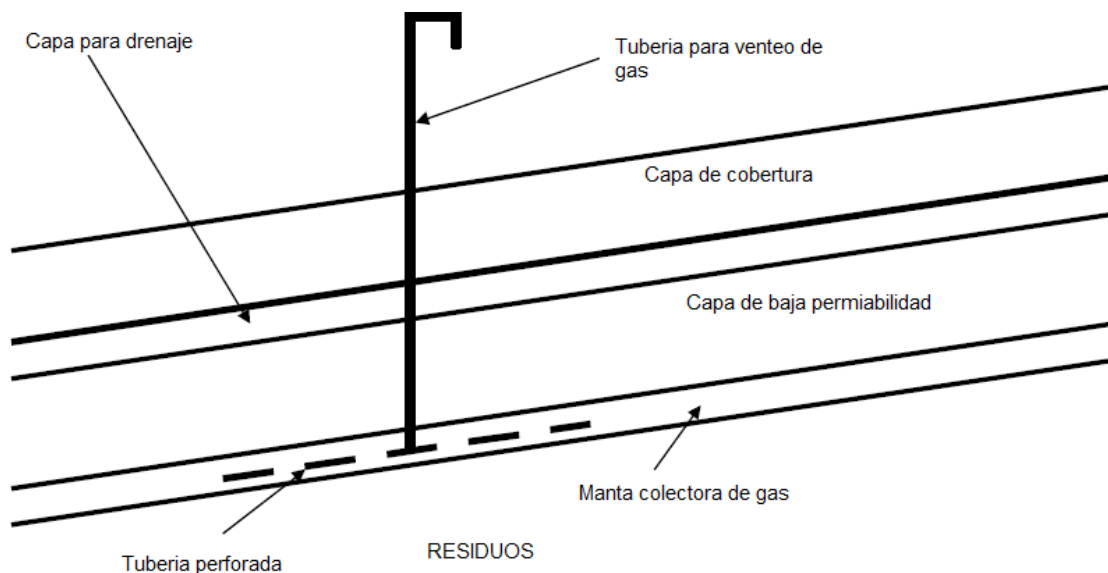


Figura 6: Sistema de colección de gas por manta EPA (2013).

Trincheras perimetrales: una trinchera puede ser construida alrededor del perímetro de un relleno sanitario para evitar la migración del gas fuera de los límites del mismo. La trinchera debe extenderse desde la superficie del terreno hasta un estrato geológico impermeable. La viabilidad de la instalación de una trinchera de colección de biogás depende de la profundidad a los que se encuentran los estratos impermeables, la facilidad de excavación del material, y las fluctuaciones en el nivel freático.

Las trincheras son típicamente de 90cm de ancho. A las mismas se las llena con grava. **La eficacia puede aumentarse mediante la instalación de una geomembrana de 1,0 a 1,5 mm de espesor de HDPE o PVC**, en la pared exterior de la zanja. Un geotextil de protección debe colocarse entre la roca y la geomembrana para evitar daños a la geomembrana. Se debe contar con una baja permeabilidad, colocando una cobertura sobre la parte superior de la zanja de recogida para evitar que el agua de precipitación entre en la zanja. (Figura 7).

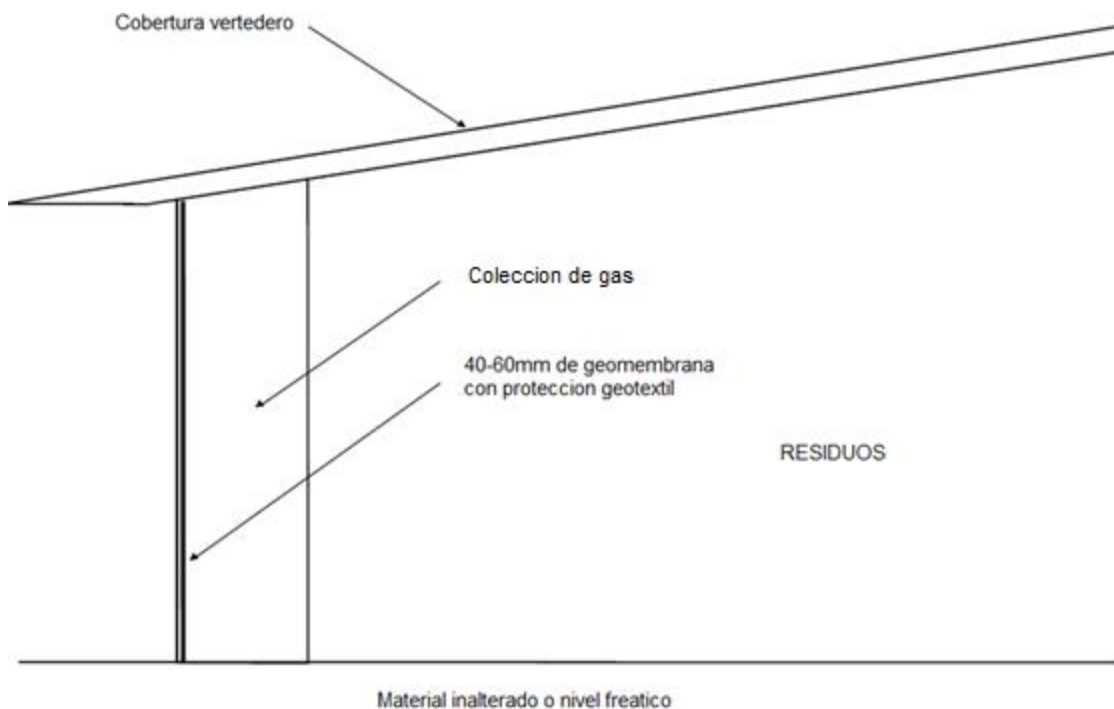


Figura 7: Trinchera perimetral EPA (2013).

Trincheras de captación por superficie: para los vertederos donde los materiales de desecho son relativamente poco profundas (menos de 12 m de profundidad), a veces se utilizan zanjas de recogida de superficie para recolectar el

biogás. Una ventaja de usar la colección horizontal frente a los pozos verticales de extracción es la capacidad de recolectar biogás, mientras que todavía están siendo llenadas las celdas. Las trincheras son típicamente excavaciones de 0,5m a 1 m (de 1,5 a 3 pies) dentro de los residuos. Las trincheras son luego revestidas con un geotextil y llenadas con un material granular que actúe de filtro. Dentro del filtro granular se coloca un tubo perforado para aumentar la capacidad de flujo. Las zanjas deben tener una separación de aproximadamente 60m de distancia y en general no se las interconecta. Los tubos de ventilación verticales están situados en los extremos de la zanja, o en los puntos altos, y espaciadas cada 60 m (200 pies) de distancia de las trincheras en la ventilación pasiva. En cambio, se retira el gas de las trincheras de ventilación activa, usando una serie de tubos de cabecera. (Figura 8).

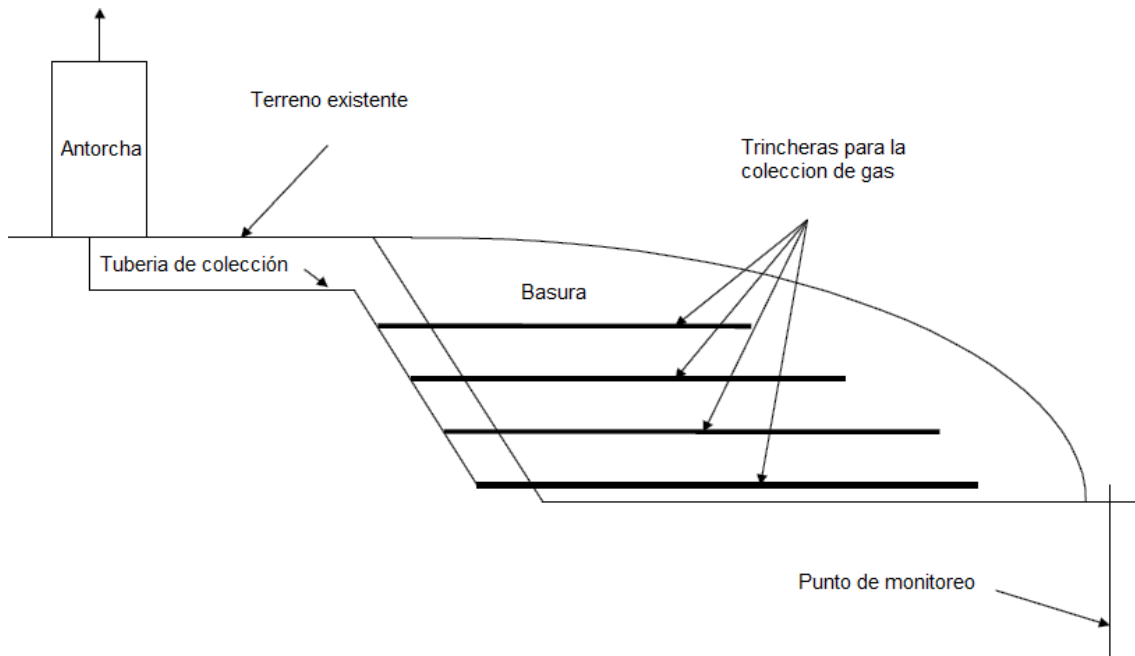


Figura 8: Sistema de colección por trincheras horizontales EPA (2013).

3.7:CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO.

Es importante tener en cuenta sistema global antes de diseñar y seleccionar los componentes individuales del sistema. Este enfoque propuesto se resume brevemente a continuación (USACE 2013).

Paso 1: Determinar el tamaño y la profundidad del relleno sanitario.

Paso 2: Determinar el tipo de residuos en el relleno sanitario y la tasa de generación de biogás.

Paso 3: Calcular el radio de influencia (ROI), establecer los pozos de extracción de biogás y los colectores.

Paso 4: Desarrollar una relación de nivel de vacío frente al flujo de biogás en el vertedero.

Paso 5: Calcular la pérdida por fricción de los componentes del sistema y las tuberías para un rango de velocidades de flujo.

Paso 6: Desarrollar una curva de "sistema" mediante la adición de las pérdidas por rozamiento calculados en los pasos 4 y 5.

Paso 7: Seleccionar un soplador con una curva de ventilador adecuado.

Paso 8: Proyectar la velocidad de flujo de biogás y el nivel de vacío.

Paso 9: Realizar un análisis de la presión de la red usando el supuesto diseño y equipamiento. Determinar si el diseño del sistema propuesto y el ventilador seleccionado proporcionan el vacío y el flujo adecuado a todas las porciones del relleno sanitario

3.8:TRATAMIENTO DEL GAS

Existen diferentes alternativas de tratamiento para corrientes gaseosas. En el caso particular del tratamiento de gas de vertederos de RSU la alternativa internacionalmente más utilizada es la quema del mismo con o sin recuperación de energía.

Los componentes típicos de planta de extracción de biogás incluyen los siguientes elementos:

- Trampa de condensado y sistema de remoción de condensando
- Tuberías y válvulas.
- Sistema de medición de caudal y calidad de biogás.
- Sopladores de extracción.
- Elementos de combustión del biogás.

Los elementos de las plantas de biogás pueden estar expuestos al aire libre o bien dispuestos dentro de un edificio diseñado para alojarlos, esta última opción disminuye los impactos visuales y contaminación sonora producto de la operación de la planta. Por otra parte los costos de mantenimiento de los elementos de la planta disminuyen si los mismos no se encuentran a la intemperie.

Para el aprovechamiento del gas recuperado para generar electricidad se requiere el pretratamiento del mismo previo al ingreso de los quemadores ya sea en una antorcha o en generadores de electricidad.

Los pretratamientos típicos incluyen:

- Extracción de humedad y vapor de agua
- Remoción de partículas sólidas
- Remoción de sulfuro de hidrógeno
- Extracción de siloxanos
- Extracción de compuestos orgánicos halogenados
- Disminución del contenido de dióxido de carbono.

La humedad presente en el biogás puede disminuir drásticamente la eficiencia del sistema de quema y puede formar mezclas muy corrosivas en combinación con contaminantes presente el gas. Las partículas presentes en el gas pueden poseer propiedades abrasivas y afectar la vida útil de los equipos.

Los compuestos de azufre, especialmente el sulfuro de hidrógeno tienen propiedades muy corrosivas. El sulfuro de hidrógeno puede ser absorbido por el agua presente en el aceite de los motores y puede producir ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico puede afectar la corrosión de los componentes de los generadores. Adicionalmente la acidificación del aceite del motor por medio del ácido sulfúrico produce un incremento en los costos de mantenimiento ya que se requiere de cambios de aceite más frecuentes.

La principal preocupación que genera la presencia de siloxanos es la deposición de material silíceo en intercambiadores de calor, motores y partes de turbinas de combustión. Durante la combustión del gas, los siloxanos se convierten en sílice cristalina y abrasiva. Estos se depositan en superficies móviles y generan abrasión por fricción, a su vez afectan la eficiencia en el intercambio de calor.

La presencia de hidrocarburos halogenados presenta problemas similares a los de la presencia del sulfuro de hidrógeno. La extracción de este tipo de compuestos como la extracción de dióxido de carbono, sólo es requerida para aplicaciones de alto grado como por ejemplo el empleo del biogás como combustible doméstico o gas natural para distribución.

3.8.1: Quema sin recuperación de energía.

La alternativa de quema sin recuperación de energía normalmente involucra la quema directa en una antorcha.

La combustión del biogás reduce las emisiones de metano a la atmósfera contribuyendo globalmente a la reducción de gases de efecto invernadero y localmente a la mejora de la calidad del aire (disminución de riesgos de explosión y olores).

Existen antorchas abiertas y cerradas. Las primeras realizan la combustión mezclando el biogás con el aire atmosférico en condiciones pobres de regulación, generando así combustiones incompletas. Una antorcha cerrada contiene el conjunto de quemadores en la parte inferior con chimenea recubierta con material refractario y todos los dispositivos necesarios para asegurar una combustión controlada.

Las antorchas abiertas representan los primeros tipos de antorchas utilizadas para el tratamiento de gases. Se las utiliza en los casos en los cuales no se requiere un control importante de las emisiones atmosféricas luego de la quema. Las antorchas abiertas permiten en la mayoría de los casos eliminar hasta el 98% de los hidrocarburos contenidos en el gas. Las ventajas de las antorchas abiertas son su diseño simple, la facilidad en construcción e instalación, son el método más económico de tratamiento de gas y se adaptan a instalación en todo tipo de terrenos. Las principales desventajas son la poca flexibilidad para permitir el control de temperatura de ignición, el flujo de aire o el muestreo de los gases resultantes de la combustión. En la actualidad casi no se utilizan este tipo de antorchas debido al poco control que se puede ejercer sobre las emisiones (CanestogaRovers et al., 2010). En la *Figura 9* se muestra la fotografía de una antorcha abierta con capacidad para quemar 350 m³/h de biogás.



Figura 9: Antorcha tipo abierta de 350 m³/h de biogás cc

Las antorchas cerradas se diferencian de las abiertas en el hecho en que tanto el flujo del gas a tratar como el del aire son controlados. Las antorchas cerradas son más utilizadas que las antorchas abiertas por dos razones, la primera es que permiten ocultar la llama de la antorcha, lo que minimiza el impacto visual y segundo es más fácil realizar muestreos para sondear la efectividad de la combustión.

Los diseños más avanzados de antorchas suelen incluir un piloto automático, un sistema de inicio de la ignición eléctrico y un sistema de provisión de combustible secundario en caso de que las características energéticas del gas a tratar lo requieran.

Los factores que se deben tener en cuenta en la operación de antorchas son el tiempo de residencia de los gases, la temperatura de operación, la turbulencia de los gases y la concentración de oxígeno adecuada para garantizar el correcto desarrollo de la combustión de los gases y los contaminantes. En las antorchas con ignición controlada la eficiencia alcanzada en la destrucción de los contaminantes presentes en el biogás puede alcanzar niveles del 99% (Environment Canada, 1995). Las antorchas cerradas alcanzan estos niveles con un tiempo de retención mínimo de los gases de 0,5 segundos, con una temperatura de ignición de al menos 875 °C y concentraciones de oxígeno en el gas inferiores al 5%.

Las antorchas cerradas se componen de un quemador con múltiples orificios para la salida del gas. Este quemador es contenido en un recinto refractario. En la Figura 10 se muestra una antorcha cerrada típica mientras que la Figura 11 es una fotografía de la aislación refractaria.

Las antorchas cerradas deben contener el siguiente equipamiento.

- Un obturador antiretorno de la llama.
- Sistema de ignición electrónico
- Sensores de presencia de la llama.
- Válvulas de corte automáticas
- Sensores de temperatura



Figura 10: Antorcha tipo cerrada CanestogaRovers et al (2010).

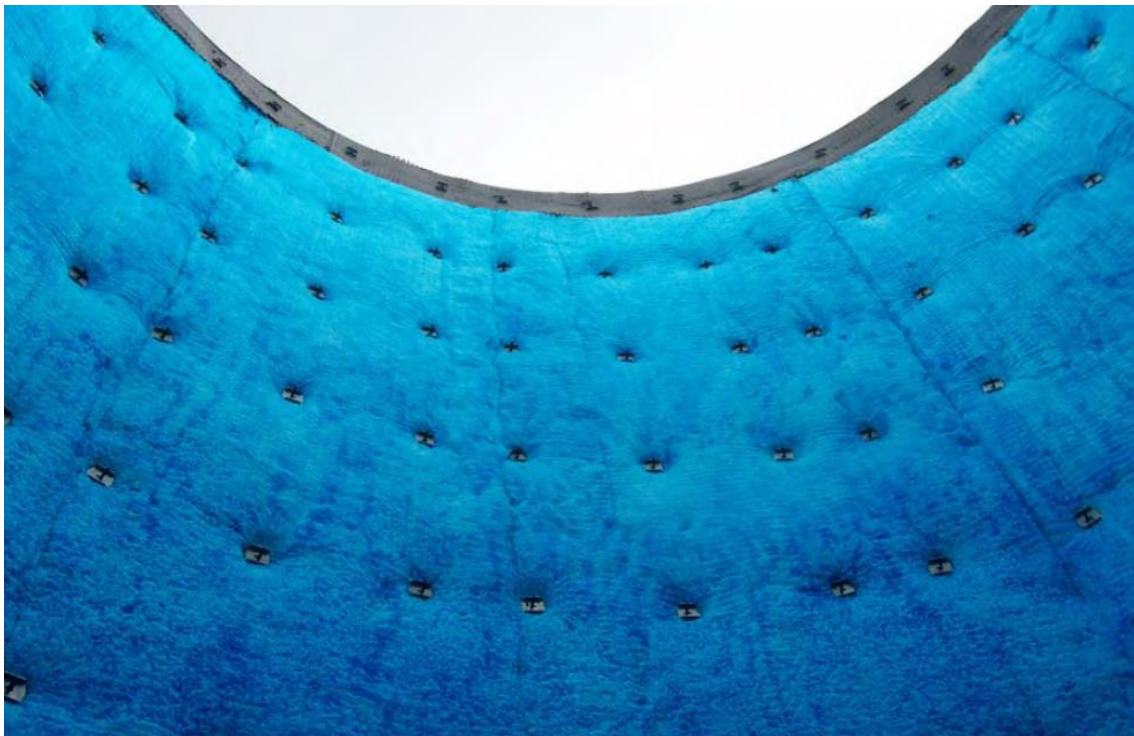


Figura 11: Aislación refractaria en una antorcha Canestoga Rovers et al (2010).

En la Figura 12 se muestra el esquema de instalación típico para una antorcha cerrada.

En general la mayoría de los sistemas son equipados con una planta de control localizada en la zona central del relleno. Las antorchas son generalmente dispuestas en estas estaciones. La configuración ideal de las plantas de extracción es que las mismas se encuentren en una posición central en el relleno, a la menor elevación posible.

3.8.1: Quema con recuperación de energía.

En el caso de quema con recuperación de energía, el diseño de las instalaciones es un tanto más complejo. Se requieren mayores recaudos en el monitoreo de caudal y calidad de biogás que ingresa a los generadores. Además de una mayor complejidad en las instalaciones para poder disponer de los generadores eléctricos y transportar la energía generada hacia los puntos de consumo o al punto de conexión a la red de distribución

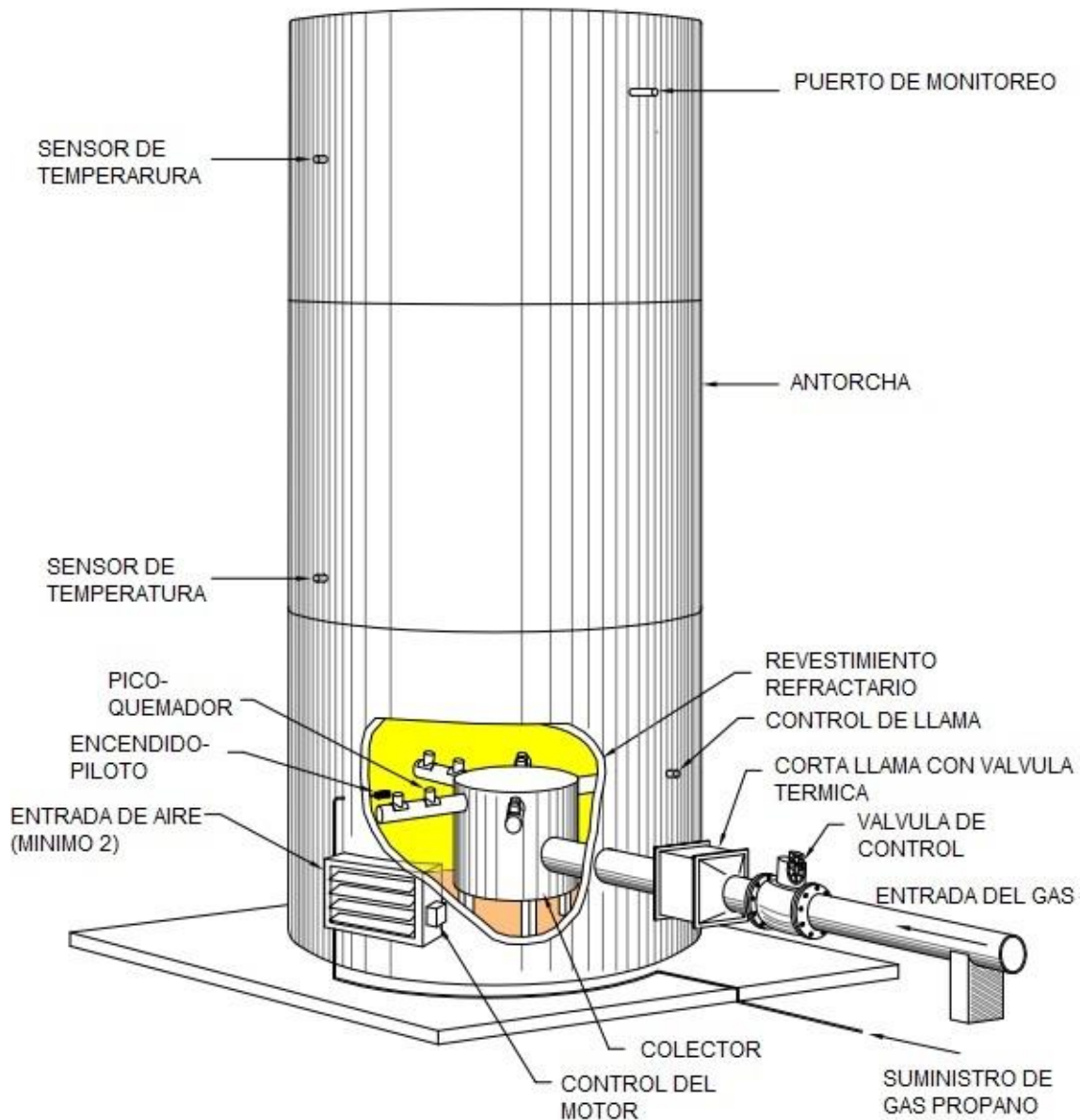


Figura 12: Componentes de una antorcha cerrada CanestogaRovers et al (2010).

De manera previa al ingreso a los generadores, se requiere que el gas pase a través de un tren de calibración, en el cual se disponen de los elementos de medición y regulación necesarios. Mediante el tren de calibración es posible controlar la presión, medir el caudal del biogás, medir la concentración de CH_4 , calibrar la presión de servicio, controlar el apagado del o los generadores, cierre automático del paso del biogás, corta llamas, etc. Existen diferentes proveedores que suministran soluciones completas para la línea o tren de calibración para el aprovechamiento del biogás para

la generación de electricidad. En la Figura 13(a) se muestra una fotografía de un tren de calibración típico, en tanto que en la Figura 13(b) se muestra el esquema de los instrumentos que componen el tren de calibración.

Los generadores que se utilizan para la producción de electricidad son el componente central y fundamental de las instalaciones de tratamiento de gases con recuperación de energía. Los mismos se componen de motores especiales, robustos y construidos expresamente para que funcionen con biogás. Son aparatos robustos debido a que los motores son reforzados para que soporten las vibraciones que ocasiona la combustión de biogás con altos contenidos de CO₂.

El rango de potencia que se encuentra comercialmente para este tipo de equipamiento se encuentra entre los 10 kW y los 5 MW. Normalmente los generadores se encuentran equipados con motores de bajas revoluciones para aumentar su vida útil.



Figura 15 (a): tren de calibración.



Figura 13 (a) y (b): Tren de calibración y los componentes del mismo Aqualimpia Engineering (2011-2012).

3.9: SÍNTESIS.

En este Capítulo se presentó brevemente las principales consideraciones de diseño de vertederos de residuos sólidos, procesos que tienen lugar en los mismos y corrientes contaminantes que se originan. Los puntos más importantes a considerar son los siguientes:

- Se presentó una revisión de las reacciones de descomposición que dan origen a la generación de lixiviados y Biogás
- Se presentaron las principales características del biogás.
- Se resumieron los principales métodos y alternativas disponibles para la colección de gases y se analizaron las particularidades de los sistemas activos y pasivos.
- Se presentaron las alternativas de tratamientos más comunes que se utilizan para el control de emisión de gases quema directa y generación de energía eléctrica.

CAPITULO 4: SITIO PIEDRAS BLANCAS.

4.1:INTRODUCCIÓN

En este Capítulo, se presentara información del sitio de Piedras Blancas, predio donde actualmente se vierten los desechos de la ciudad de Córdoba, el mismo se ubica a la afueras de la ciudad sobre la ruta 36.

Además se expone la situación en la que se encuentra el sitio en la actualidad con respecto a los temas que interesan para el consecuente desarrollo del trabajo, es decir se describe temas como: la barrera de fondo, densidad, composición y cantidad de residuo, el manejo del líquido lixiviado y las alternativas del sistema de cobertura. Además se presenta la situación del sitio con respecto a la generación de gases, sus composiciones y concentraciones, se expone las conclusiones de las medidas a adoptar.

4.2:ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS.

Para el desarrollo de las actividades involucradas en el proyecto se contó con las siguientes fuentes de información:

- Propuesta de factibilidad de Utilización de Predio presentado por Córdoba Recicla Sociedad del Estado (CReSE) a la Municipalidad de la Ciudad de Córdoba (5 cuerpos, con un total de 1033 fojas).
- Estudios de inspecciones técnicas de monitoreo de agua subterránea, clasificación de residuos, compactación de residuos, emisión de biogás, monitoreo de lixiviados y control de compactación del suelo, realizados por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.
- Diferentes ensayos en el vertedero de piedras blancas realizados por CIQA, centro de investigación y transferencia en ingeniería química.

4.3:DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO.

El predio de enterramiento transitorio denominado “Piedras Blancas” se encuentra localizado en la zona sur de la ciudad de Córdoba, sobre la vera de la Ruta RN 36, el acceso al predio se realiza por esta misma ruta por lo que resulta de inmejorable accesibilidad. Latitud 31°30’ Sur, Longitud 64°13’ Oeste. A una distancia de 5,8 Km de la avenida de Circunvalación y a 2,2 km del Barrio Nuestro Hogar III en el extremo sur de la ciudad.

*Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas,
Córdoba.*

El predio está conformado por 60 hectáreas, la denominación catastral del mismo es Distrito 32, Zona 09, Manzana 01. De acuerdo a lo comunicado por los operadores del predio, los planes de trabajo prevén que la fosa de enterramiento de residuos ocupe una superficie de aproximadamente 25 hectáreas. En la Figura 1 se muestra la ubicación relativa del predio en la ciudad de Córdoba.



Figura 14: Ubicación del predio dentro de la ciudad y alrededores.

En este predio depositan o han depositado los residuos, además de la ciudad de Córdoba, dieciocho municipios del área metropolitana de Córdoba entre los que se encuentran: Villa General Belgrano, La Falda, La Calera, Despeñaderos, Ríos Ceballos, Unquillo, Corralito, La Cumbrecita, Saldan, Malvinas Argentinas, Villa Allende, Alta Gracia, José de la Quintana, Santa Mónica, Valle de Anisacate, Los Aromos, La Bolsa y Juárez Celman.

El predio cuenta con la siguiente infraestructura existente: alambrado perimetral, energía eléctrica, una construcción donde funciona la oficina administrativa y grupos sanitarios para ambos géneros. También cuenta con un galpón donde funciona el taller de mantenimiento y almacén. También hay una báscula, una oficina de pesaje y el comedor de los operarios.

Las condiciones de suelo y topografía existente en el sitio, se puede resumir en que se encuentra dentro de la llanura pampeana, una extensa planicie suavemente ondulada y con pendiente de 0,7%. El tipo de suelo es un loess de baja permeabilidad.

Respecto de las condiciones climatológicas: se verificaron vientos normalmente en dirección contraria al lugar donde está establecida la población más cercana, además hay un régimen de lluvia bajo.

4.4:CONDICIONES DEL SITIO CUANDO SE COMENZÓ CON EL PROYECTO.

El predio de enterramiento transitorio comenzó a funcionar en Abril del año 2010. Para la primera etapa de operación del sitio y debido al escaso tiempo disponible para la construcción y acondicionamiento del sitio se comenzó a operar con una celda excavada de 135 metros de ancho por 69 metros de largo y con una profundidad de 11 metros. En el aviso de proyecto se indica que la base de la celda debe poseer una pendiente general en sentido norte – sur, y en sentido oeste – este, ubicando la parte baja de la celda en el sector sur – este. Sin embargo no se indica el fin de esta pendiente ni la magnitud de la misma.

4.5:BARRERA DE FONDO EN LAS CELDAS DE ENTERRAMIENTO

En la Figura 15 se puede ver un esquema del sistema de impermeabilización para la barrera de fondo que utilizaron en Piedras Blancas. El mismo está formado de arriba hacia abajo por un suelo de protección para que el residuo no dañe el geotextil y la geomembrana que vienen a continuación, y luego un suelo del lugar compactado con un espesor de 30cm.

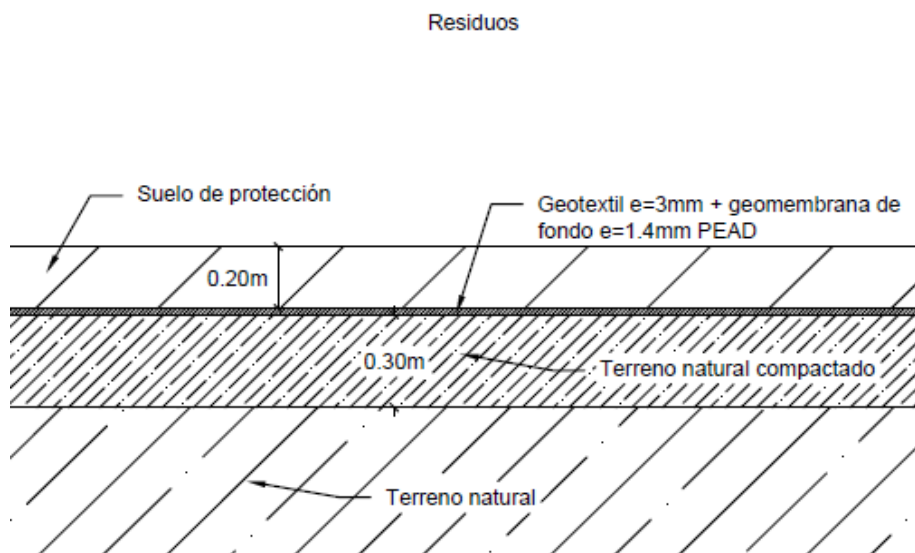


Figura 15: esquema de la barrera de fondo.

4.6:INGRESO Y TONELAJE DE RESIDUOS EN EL PREDIO

El ingreso al predio se encuentra controlado, el mismo se realiza por una única vía. Los camiones deben pasar por una báscula al ingreso y al egreso a efectos de determinar el peso de residuos que depositan en el predio.

En el informe sobre “Análisis de sitios para el centro de tratamiento y disposición final para los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de la ciudad de Córdoba” de Diciembre 2012 se analizaron los registros aportados por la municipalidad de Córdoba y CReSe sobre el tonelaje de los residuos dispuestos por la ciudad de Córdoba y su área de influencia desde el año 1988.

A partir del análisis de esos registros se determinaron las siguientes tasas de generación de residuos per cápita:

- Tasa generación domiciliaria promedio = 0,870 Kg/hab/día
- Tasa generación total promedio = 1,553 Kg/hab/día
- Tasa generación sin escombros promedio = 1,427 Kg/hab/día

A partir del análisis de estas tasas de generación y los datos aportados por la empresa operadora del enterramiento, la cantidad de residuos que ingresa en la actualidad al predio y que ingresaría hasta el cierre del mismo (estimado para finales de 2015) varía entre 57.000 y 60.000 Tn/mes.

El volumen de residuos dispuestos hasta agosto de 2013 fue de 2.791.626 m³, según información del proyecto de las celdas de enterramiento obtenidos del aviso de proyecto y datos verbales aportados por funcionarios de la dirección de higiene urbana de la Municipalidad de Córdoba y del jefe de operaciones de enterramiento de CReSE.

4.7:COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

En el predio de enterramiento se realiza de forma mensual ensayos de clasificación de los residuos que se depositan en el predio. Los resultados de estos ensayos provistos por la Municipalidad de Córdoba comprenden el período entre abril de 2010 y noviembre de 2013.

En la Tabla 3 se presentan los valores medios determinados para cada fracción dispuesta en el predio y el desvío estándar.

Tabla 3: Composición promedio de los residuos sólidos urbanos dispuestos en el predio de Piedras Blancas (Referido al peso seco de los RSU).

Componente	Cantidad Promedio %	Desvío Estándar %
Papel	10,06	2,38
Plásticos	12,51	3,03
Residuos de comida	32,26	4,77
Madera	0,64	0,86
Otros orgánicos	25,94	6,98
Metales	2,02	0,94
Vidrio	4,63	2,12
Otros inorgánicos	8,42	5,95
Residuos especiales	3,52	3,28
Σ	100,00	

4.8: DISPOSICIÓN Y COMPACTACIÓN DE LOS RSU.

De acuerdo al plan de trabajo presentado en el aviso de proyecto, los residuos se deben descargar en el frente de trabajo, luego los mismos debieran ser distribuidos por una topadora conformando capas de no más de 30 cm de espesor para su posterior compactación. Según lo indicado en el aviso de proyecto, el espesor máximo de la capa a compactar no debe ser superior a 60 cm, en tanto que la altura máxima de residuos compactados permitida entre coberturas es de 1,5 metros.

La tapada diaria se realiza con suelo propio del lugar en capas de espesores de 20 centímetros. La cobertura debe realizarse con frecuencia diaria o cuando la altura de residuos compactados alcance 1,5 metros de espesor, cuidando que toda la superficie de los residuos quede cubierta. El aviso de proyecto estima un peso unitario de la tapada diaria de 900 Kg/m³.

*Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas,
Córdoba.*

La empresa operadora del predio realiza ensayos periódicos de compactación de residuos. Se dispone de una serie de mediciones entregadas por la empresa comprendidas entre abril de 2010 y Noviembre de 2013. Del análisis de las series surge que los valores medios y desvíos de la densidad húmeda y seca de los residuos son los siguientes:

- Para la densidad húmeda de los residuos = $1215 \pm 135 \text{ kg/m}^3$
- Para la densidad seca de los residuos = $1066 \pm 117 \text{ kg/m}^3$

En las Figuras 18 y 19 se presentan fotografías del predio donde se puede ver el sitio, con residuos vertidos, donde se puede observar la diversidad de residuos y se puede ver el movimiento de suelo realizado.



Figura 16: predio Piedras Blancas, diversidad de residuos.



Figura 17: predio Piedras Blancas, movimiento de suelo.

4.9:GESTIÓN DE LIXIVIADOS

Para el sistema de gestión de lixiviados propuesto para el enterramiento de Piedras Blancas se ejecutó la excavación de las celdas con pendiente hacia uno de los vértices de manera de facilitar el escurrimiento de los líquidos hacia el punto de extracción, en esos sectores se instala el sistema de extracción.

A fines de separar aguas de lluvia de los líquidos lixiviados se disponen a distancia adecuada, sobre el fondo de las celdas, bermas que permiten contener los lixiviados que fluyen desde el frente de trabajo, aunque no se especifica la separación precisa entre bermas. En la Figura 18 se muestra una fotografía de una de estas bermas en donde se puede apreciar claramente la separación de las aguas de lluvia contaminadas de las no contaminadas.

El sistema de lixiviados consta de una tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio de 350 mm de diámetro. Esta tubería se coloca recostada sobre uno de los taludes de la excavación, concurrente con el vértice más profundo del fondo de la celda.

Los primeros tres metros del conducto se perforan para permitir la captación de los líquidos.



Figura 18: bermas en el vertedero, a la derecha de la misma se encuentra el lixiviado.

De acuerdo al aviso de proyecto los líquidos lixiviados colectados por el sistema serían trasladados hasta una planta de tratamiento. CReSE estima un volumen de lixiviado mensual a tratar de 600 m³.

Durante la operación del sitio no se llevan registros de los volúmenes de lixiviados generados. CReSE indica por nota con fecha de 18 de diciembre 2013 que los lixiviados generados en el frente de trabajo son bombeados y reinyectados en la zona de la celda que se encuentra fuera de operación y que cuenta con una cobertura temporal.

4.10: GESTIÓN DE GASES

De acuerdo a lo informado por la empresa CReSe en el aviso de proyecto se contempla una gestión simple de los gases que se originan en la celda de enterramiento. Esta gestión simple consiste en la instalación de chimeneas verticales materializadas mediante el acople de tubos perforados, los cuales finalizan a una altura aproximada de un metro por encima del nivel de la cobertura temporal de la

celda. A través de estas chimeneas se permite el venteo de los gases generados directamente a la atmósfera sin tratamiento alguno.

El aviso de proyecto contempló la caracterización y monitoreo periódico de las corrientes gaseosas que se ventean por estas chimeneas. Estas actividades estuvieron a cargo del de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC).

El estudio del gas generado en la celda incluyó una caracterización inicial de la corriente gaseosa y un monitoreo de compuestos químicos selectos efectuados en un punto de medición en el predio con una frecuencia de tres mediciones anuales. La caracterización inicial fue realizada en septiembre de 2010 a seis meses del inicio del vertido en el predio.

En el informe técnico de *Cierre, Clausura y Post-Clausura del enterramiento Sanitario Provisorio "Piedras Blancas"*, informe entregado por la FCEFyN a la municipalidad mencionado en la primera unidad como etapa 1 del convenio específico, se presentó un análisis de la variación temporal de la composición del gas de vertedero en función de las determinaciones disponibles realizadas por la UTN-FRC. Debido al bajo número de determinaciones disponibles y a la variabilidad de algunos parámetros, el análisis temporal que se realizó se centró en los principales constituyentes del gas: CH₄, SO₂, NO_x, CO y H₂S. En las Figura 19 a la Figura 23 se muestra la evolución temporal de las concentraciones de estos compuestos. En estas figuras se indica el límite máximo permisivo a ser emitido a la atmósfera de cada compuesto de acuerdo a las recomendaciones de la normativa TA-Luft (2002) de Alemania.

Del análisis de los resultados presentados en el informe técnico mencionado se puede remarcar los siguientes puntos de interés para el aprovechamiento y la gestión de gases:

- Las mediciones comienzan a detectar la presencia de metano en enero de 2011, nueve meses luego del inicio de las tareas de enterramiento en el predio.
- La concentración de metano, presenta variabilidad en el tiempo entre enero de 2011 y enero de 2013, sin embargo la tendencia general indica un aumento sostenido en la concentración de metano. La concentración de metano alcanzó niveles de 20.000 mg/Nm³. Como se muestra en la Figura 19.

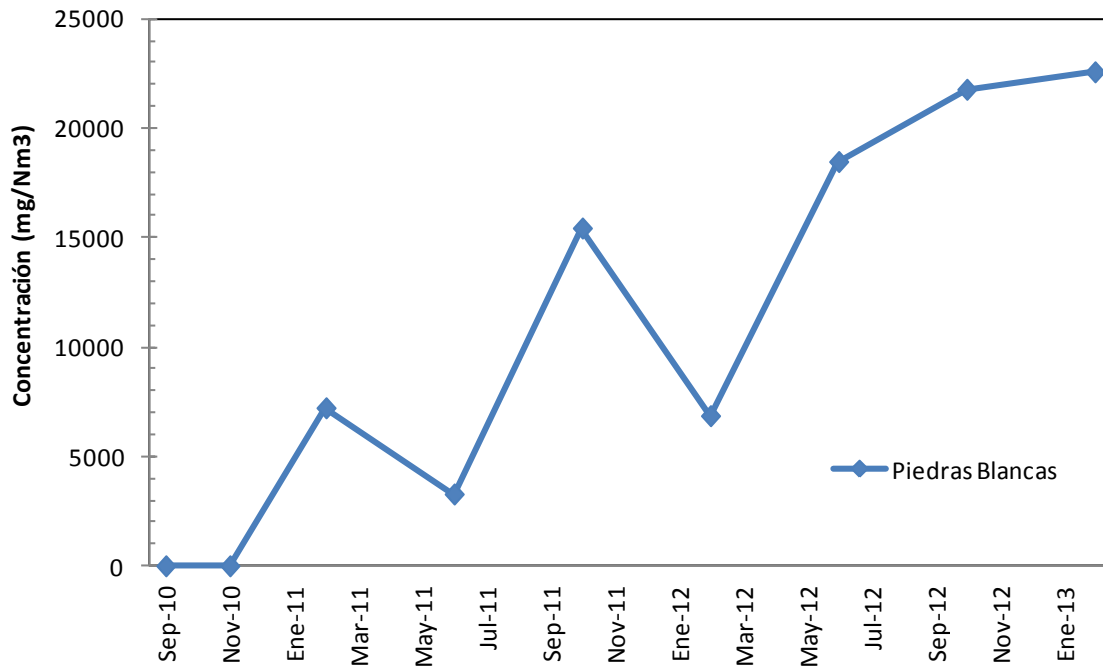


Figura 19: Variación temporal de metano en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.

- El porcentaje de metano en la corriente gaseosa medida alcanza el 36%.
- Como se ve en la Figura 20 el dióxido de azufre presenta una importante variación inicial en la concentración. Desde enero de 2011 la concentración se mantiene en un nivel estable de alrededor de 10.000 mg/Nm³. Tendencia similar presentan las determinaciones de los óxidos de nitrógeno.

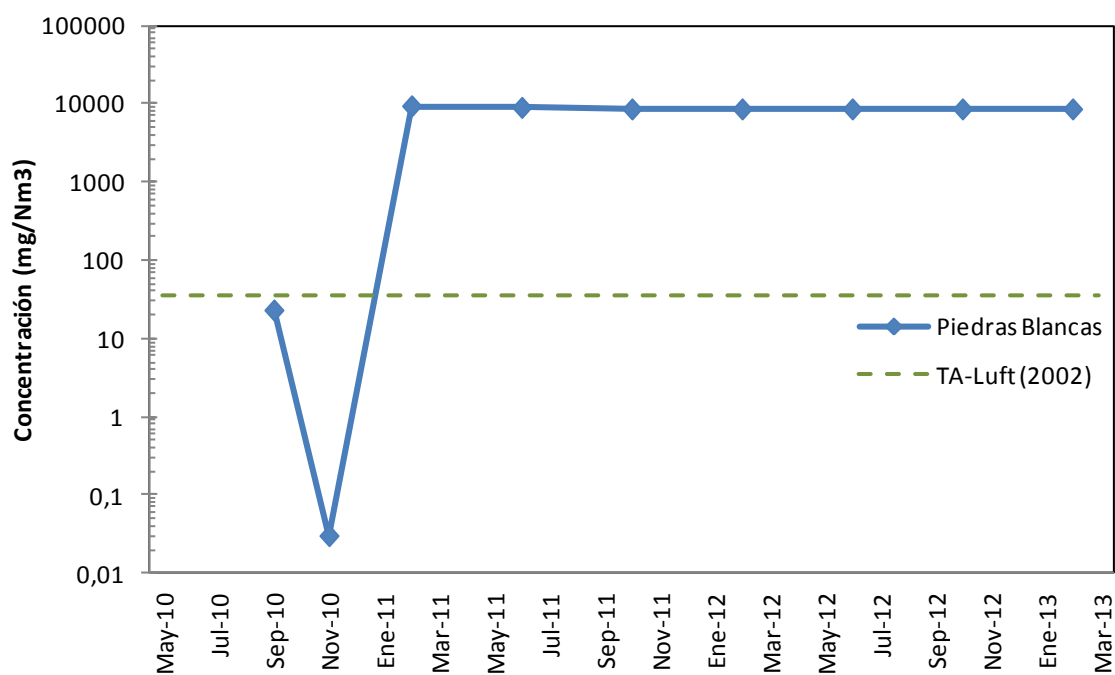


Figura 20: Variación temporal de dióxido de azufre en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.

- La concentración del sulfuro de hidrógeno muestra un comportamiento errático a lo largo de la serie de mediciones con un importante aumento en las últimas dos determinaciones disponibles correspondientes a Noviembre de 2012 y Enero de 2013, este comportamiento se muestra en la Figura 21.
- En la siguiente figura (Figura 22), la concentración de monóxido de carbono no presenta una tendencia clara y muestra una variación importante respecto de un valor promedio de aproximadamente 400 mg/Nm³.

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas,
Córdoba.

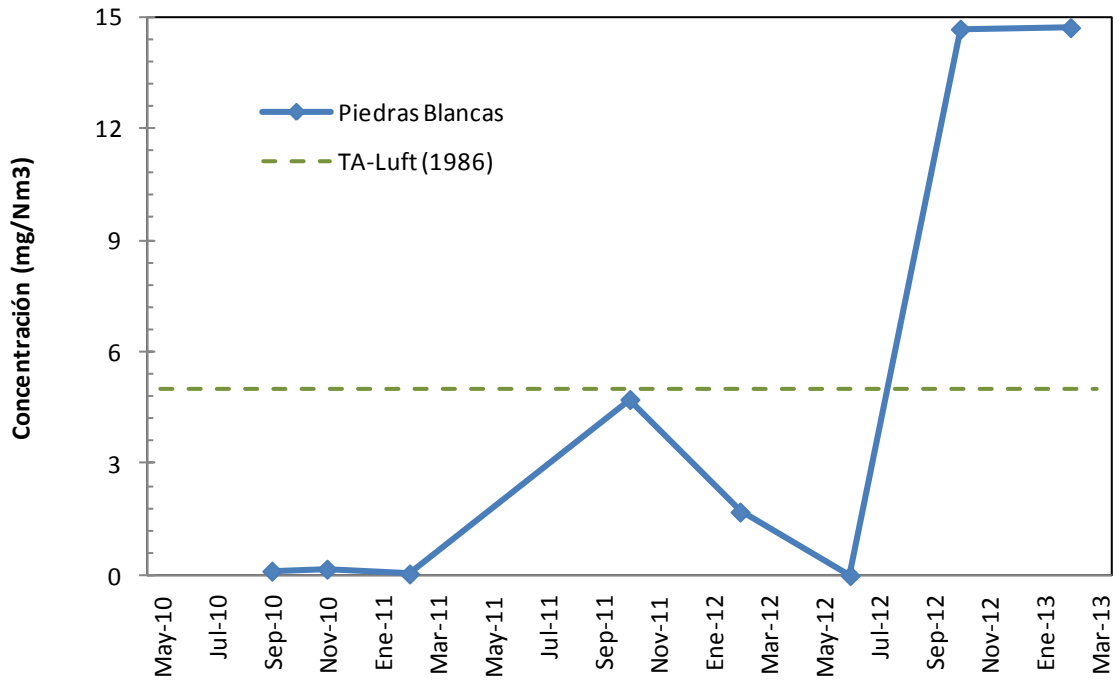


Figura 21: Variación temporal de sulfuro de hidrógeno en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.

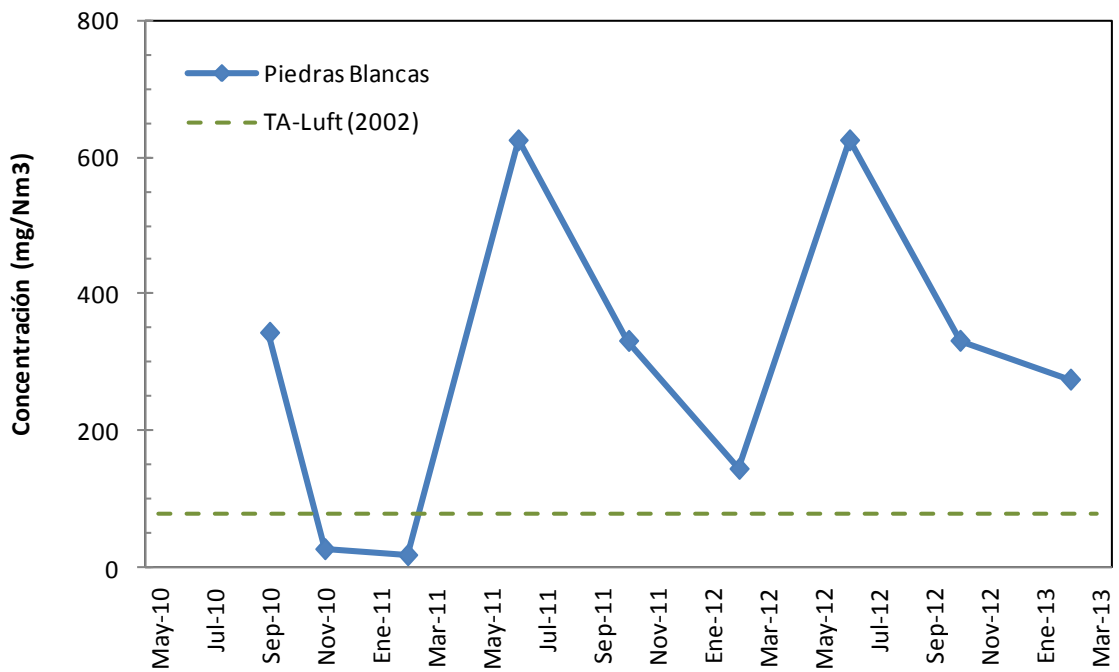


Figura 22: Variación temporal de monóxido de carbono en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.

- La concentración de óxidos de nitrógeno generado por los gases del vertedero exceden los valores límites de TA luft(2002), como se observa en la Figura 23.

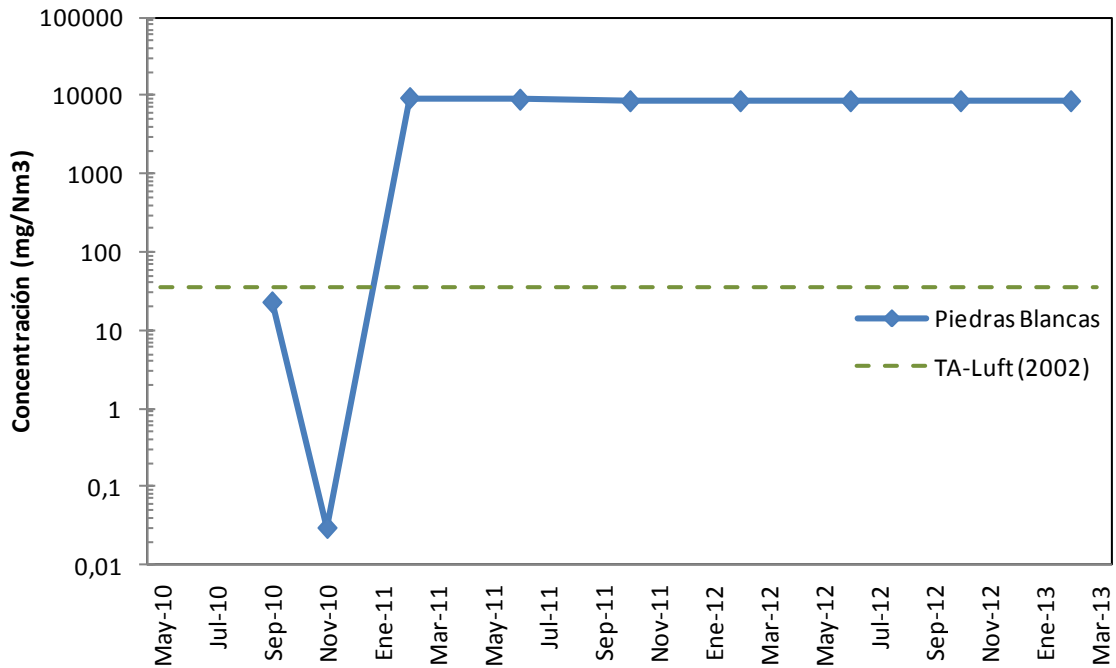


Figura 23: Variación temporal de óxidos de nitrógeno en los gases generados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas.

- Las concentraciones de los compuestos analizados exceden en todos los casos los límites establecidos para las emisiones de un incinerador de gases de rellenos sanitarios establecidos en la Directiva TA-Luft.

En ningún caso se supera el Valor Umbral de Información Pública considerado en el Reglamento 166/2006 (Parlamento Europeo, 2006) y Real Decreto 508/2007 (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007), como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Valor Umbral de Información Pública (Reglamento 166/2006 (Parlamento Europeo, 2006) y Real Decreto 508/2007 (Ministerio de Medio Ambiente, España, 2007)) y valores analizados en el Relleno Sanitario de Piedras Blancas

Parámetro	Valor Umbral de	Piedras Blancas		
	Información Pública (kg/año)	Valor Mínimo (kg/año)	Valor Promedio (kg/año)	Valor Máximo (kg/año)
CH ₄	100.000	0,00	9.341	25.565
SOx/SO ₂	150.000	0,044	4237	9713
CO	500.000	6,960	193,9	456,8
NOx	100.000	0,009	1,143	6,345

Según la Directiva TA-Luft de Alemania, los gases de salida de un incinerador de gases de un relleno sanitario no deben superar los límites presentados en la Tabla 5. Si el gas de venteo no superara estos límites, en primera instancia podría continuar sin tratamiento, siempre que se cumplan las condiciones según la Secretaria de Ambiente de la Provincia de Córdoba.

Como puede observarse en la Tabla 5 los límites se encuentran ampliamente excedidos en todos los parámetros (con excepción de los óxidos de nitrógeno), por lo que el tratamiento de los mismos resulta indispensable.

Tabla 5: Límites de la Directiva TA-Luft (1996) y análisis del gas de venteo del Relleno Sanitario de Piedras Blancas.

Parámetro	Límites de la Directiva	Piedras Blancas		
	Técnica para la Reducción de la Contaminación del Aire - TA Luft(mg/Nm ³ , gás seco a 3% O ₂ [promedio de 24 h])	Valor Mínimo (mg/Nm ³)	Valor Promedio (mg/Nm ³)	Valor Máximo (mg/Nm ³)
CO	80 (TA-Luft 2002)	18,75	302,7	625
NOx	200 (TA-Luft 2002)	0,02	1,242	4,84
SO ₂	35 (TA-Luft 2002)	0,03	6.811	9.399
C(org)	10 (TA-Luft 1996)	0,00 ^(a)	10.62 ^(a)	22.565 ^(a)

H ₂ S	5 (TA-Luft 1986)	0,0001	5,817	14,71
------------------	------------------	--------	-------	-------

Nota: (a) El valor presentado para los gases del Relleno Sanitario de Piedras Blancas corresponden únicamente a metano (CH₄).

De acuerdo a lo expuesto anteriormente resulta indispensable la captura y tratamiento de los gases una vez que se realice la cobertura definitiva de las celdas.

Uno de los aspectos más relevantes de los analizados es la composición de los gases, ya que los contenidos máximos de metano determinados rondan el 36%, cuando de acuerdo a la literatura internacional la composición del gas de vertedero posee entre el 45 y 65% de gas metano (EPA 2005). La concentración de este compuesto es de fundamental importancia al considerar la posibilidad de quema del gas.

De los análisis también surge que el contenido de oligogases se encuentra muy por encima de lo normalmente esperado (alrededor del 2%). Esto se puede atribuir a la composición de los residuos dispuestos, disponibilidad de humedad, estadio de biodegradación en el que se encuentra la fracción orgánica y condiciones de temperatura y disponibilidad de oxígeno en la celda de enterramiento. Por ello resulta de fundamental importancia, continuar con el monitoreo de la composición del gas que se ventea y proveer una cobertura definitiva que limite el ingreso de aire, de manera de favorecer las condiciones anaeróbicas para la generación de gas metano, y la mejora de las propiedades caloríficas del gas que se va a tratar.

4.11: SISTEMA DE COBERTURA

Para el desarrollo del proyecto, el equipo de trabajo realizó la recopilación de diferentes alternativas de coberturas, constituidas por diferentes capas, donde se comparó diferentes variables relacionadas al drenaje, conductividad hidráulica, tipo de capa, captación de gases, control de calidad, y otras variables importantes. Se recopilaron 12 sistemas, la composición de los mismos junto con las ventajas y desventajas observadas se presentan en la Figura 24.

De los 12 sistemas de cobertura identificados se seleccionaron 4 sistemas considerando los requerimientos normativos de la Ciudad de Córdoba (Ordenanza 9612/97) y USEPA (1998). A partir de la interacción con los técnicos de la Municipalidad de Córdoba, se seleccionaron 2 alternativas finales para el sistema de cobertura. Esta 2 alternativas se seleccionaron sabiendo que el sistema que se debía

adoptar era precario y para un sitio temporal en un principio, cuentan con las siguientes ventajas sobre el resto:

- Son ambas técnicamente sencillas.
- No contienen capas de suelos granulares, no disponible en el terreno.
- Cumplen las normas vigentes.
- La alternativa (b) tiene un buen desempeño cuando se necesita captar los gases.

En la Figura 25 se presenta un corte esquemático con las capas y características de los 2 sistemas de cobertura seleccionados

Dentro de estas dos alternativas se puede hacer referencia a las eficiencias de cada uno de los sistemas de cobertura con relación al tratamiento de biogás. Si hablamos de la alternativa (a), es decir sin la geomembrana, en este caso se tendría una eficiencia de captura de gases de 10% menos debido a la migración de los mismos directamente a la atmósfera respecto en el caso de la alternativa (b) con geomembrana de PEAD de 1,4mm de espesor. Ese porcentaje de biogás se pierde y no puede ser tratado ni aprovechado de ninguna forma. De acuerdo a los antecedentes para los sistemas de cobertura propuestos para el caso de “Piedras Blancas” se considerará una eficiencia del sistema de colección de gases del 85%(Spokas et al. 2006; US EPA 2008 y Amini et al. 2012).

4.12: MANEJO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

El aviso de proyecto especifica que se tomarán los cuidados necesarios para el drenaje superficial, el mismo incluye un diseño del sistema de desagüe preparado por el Departamento de Estudios y Proyectos de la Dirección de Obras Viales de la Secretaría de Desarrollo Urbano de la Municipalidad de Córdoba. El proyecto consideraba que podrían construirse dos lagunas de retardo.

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

Alternativas	Tipología	Ventajas	Desventajas	Referencias	Alternativas	Tipología	Ventajas	Desventajas	Referencias
1		<ol style="list-style-type: none"> Es una cobertura muy completa. Permite la evacuación rápida de las aguas procedente de precipitaciones. Protege a barreras impermeables contra el efecto de roedores y vectores. Poco susceptible a asentamientos diferenciales. Buena capacidad de retención de gases. Mejor eficiencia para sistemas activos de captación de gases. 	<ol style="list-style-type: none"> Requiere mayores cuidados y trabajos de construcción. Costos de construcción. Requiere movimiento de suelos importantes. Requiere uso de suelos que no se encuentren en el sitio. Requiere control de calidad durante la construcción. 	Cobertura alternativa, RCRA EPA, Subtítulo D.	8		<ol style="list-style-type: none"> Es la recomendada por la legislación de la ciudad de Córdoba, Argentina. Especifica 1,2 m de espesor. En ese espesor se debe considerar la capa de erosión y la capa de fundación. Sólo requiere suelo del lugar. Resultado de simple ejecución. Es económica. Representa las condiciones mínimas exigidas en la jurisdicción. 	<ol style="list-style-type: none"> No indica restricciones de conductividad hidráulica. No hay control de ingreso de agua por infiltración. No hay control de salida de gases. Problemas con ingreso de aire al vertedero para la generación y colección de biogás. Susceptible de problemas por asentamientos diferenciales. Requiere mantenimiento importante. 	Ordenanza 9612 Ciudad de Córdoba, Argentina.
2		<ol style="list-style-type: none"> Económica. Simple de construir. Sistema recomendado por la EPA para vertederos construidos sin barrera de fondo o que la misma se componga simplemente por suelo local compactado. No requiere importante movimientos de suelos. Requiere traslado de poca cantidad de suelos que no se encuentran en el predio. 	<ol style="list-style-type: none"> Susceptible a fisuración debido a asentamientos diferenciales. Requiere mantenimiento y control. No hay control de ingreso de agua por infiltración. No hay control de salida de gases. Poca eficiencia en sistemas de colección de gases activos y pasivos. Menor concentración de metano en el biogás en caso que ingrese aire al vertedero. 	Cobertura mínima, RCRA EPA Subtítulo D, rellenos sin barrera de fondo.	9		<ol style="list-style-type: none"> Es la recomendada por la legislación de la ciudad de Córdoba, Argentina. Especifica geomembrana, no indica espesores de suelo. Sólo requiere suelo del lugar. Resultado de simple ejecución. Es económica, permite control de infiltración. Permite control de salida de gases. 	<ol style="list-style-type: none"> No indica restricciones de conductividad hidráulica. Susceptible de problemas por asentamientos diferenciales. Requiere mantenimiento. 	
3		<ol style="list-style-type: none"> Económica. Simple de construir. Control de emisión de gases. Protección contra roedores y vectores. Protección a fisuración de la barrera de suelo compactado. 	<ol style="list-style-type: none"> Control de calidad instalación geomembrana y compactación de suelos. Eficiencia intermedia en sistema de colección de gases. 	Cobertura mínima, RCRA EPA Subtítulo D para vertederos con barrera inferior a suelo compactado y geomembrana	10		<ol style="list-style-type: none"> Es simple de construir. Utiliza suelo del lugar. Garantiza buena protección a la barrera de baja permeabilidad. 	<ol style="list-style-type: none"> No tiene drenaje superficial. No contempla capa de colección de gas. Susceptible a asentamientos diferenciales. Problemas con biogás en caso de ingreso de aire. 	
4		<ol style="list-style-type: none"> Económica. Simple de construir. Control de emisión de gases. Protección contra roedores y vectores. Protección a fisuración de la barrera de suelo compactado. 	<ol style="list-style-type: none"> Control de calidad instalación geomembrana y compactación de suelos. Eficiencia intermedia en sistema de colección de gases. 	Cobertura mínima, RCRA EPA Subtítulo D para vertederos con barrera inferior a suelo compactado y geomembrana	11		<ol style="list-style-type: none"> Tiene capa de recolección de gas. Elevada protección a barrera de baja conductividad hidráulica 	<ol style="list-style-type: none"> No tiene capa de drenaje superficial. Susceptible a asentamientos diferenciales 	Loja, Ecuador
5		<ol style="list-style-type: none"> Es un sistema muy restrictivo. Tiene drenaje de agua causada por precipitaciones. Tiene capa de recolección de gas. No plantea uso de geomembrana. Tiene capa de protección importante. Para protección de erosión y desarrollo de vegetación superficial. 	<ol style="list-style-type: none"> Es una cobertura muy completa. Permite la evacuación rápida de las aguas procedente de precipitaciones. Protege a las barreras impermeables contra el efecto de los roedores y vectores. Menos susceptible a los asentamientos diferenciales. Mayor posibilidad de captura de gas. 	"Landfill Manual. Landfill Site Design", EPA, Irlanda.	12		<ol style="list-style-type: none"> Tiene capa de recolección de gas. Amplia protección a la barrera de baja conductividad hidráulica 	<ol style="list-style-type: none"> No hay garantías de problemas debidos a asentamientos diferenciales. 	
6		<ol style="list-style-type: none"> Barrera altamente impermeable. Minimiza las posibilidades de infiltración. 	<ol style="list-style-type: none"> Muy exigente. Similar a las usualmente recomendadas para residuos peligrosos. No presenta capa de drenaje superficial. No presenta capa de recolección de gases. Requiere de mucho volumen de movimiento de suelos. 	Sharma, H. y Reddy, K. (2004). "Cobertura mínima para el estado de Illinois", John Wiley & Sons Inc., Estados Unidos.	7		<ol style="list-style-type: none"> Es la recomendada por el operador de tratamiento de la ciudad más grande de Argentina. Es simple de ejecutar. Es económica. 	<ol style="list-style-type: none"> Susceptible a asentamientos diferenciales. No tiene capa de drenaje superficial. No recomienda parámetros mínimos de conductividad hidráulica. No tiene control de ingreso de agua infiltración. No permite control de salida de gases. Poco espesor de la capa de protección. 	CEAMSE, Buenos Aires, Argentina
7		<ol style="list-style-type: none"> Es la recomendada por la legislación de la ciudad de La Plata. Tiene capa de colección de gases. El requerimiento de movimiento de suelos no es tan importante como en otras alternativas. 	<ol style="list-style-type: none"> La conductividad hidráulica que solicita para la barrera es muy baja. Los suelos de Córdoba, requieren mejoramiento. No posee capa de drenaje superficial. Susceptible a efectos de asentamientos diferenciales. No tiene control de emisiones de gas. Puede presentar problemas en la generación de gas por ingreso de aire. 	Resolución 1143/02, Ciudad de La Plata, Argentina					

Figura 24: Alternativas de cobertura superior.

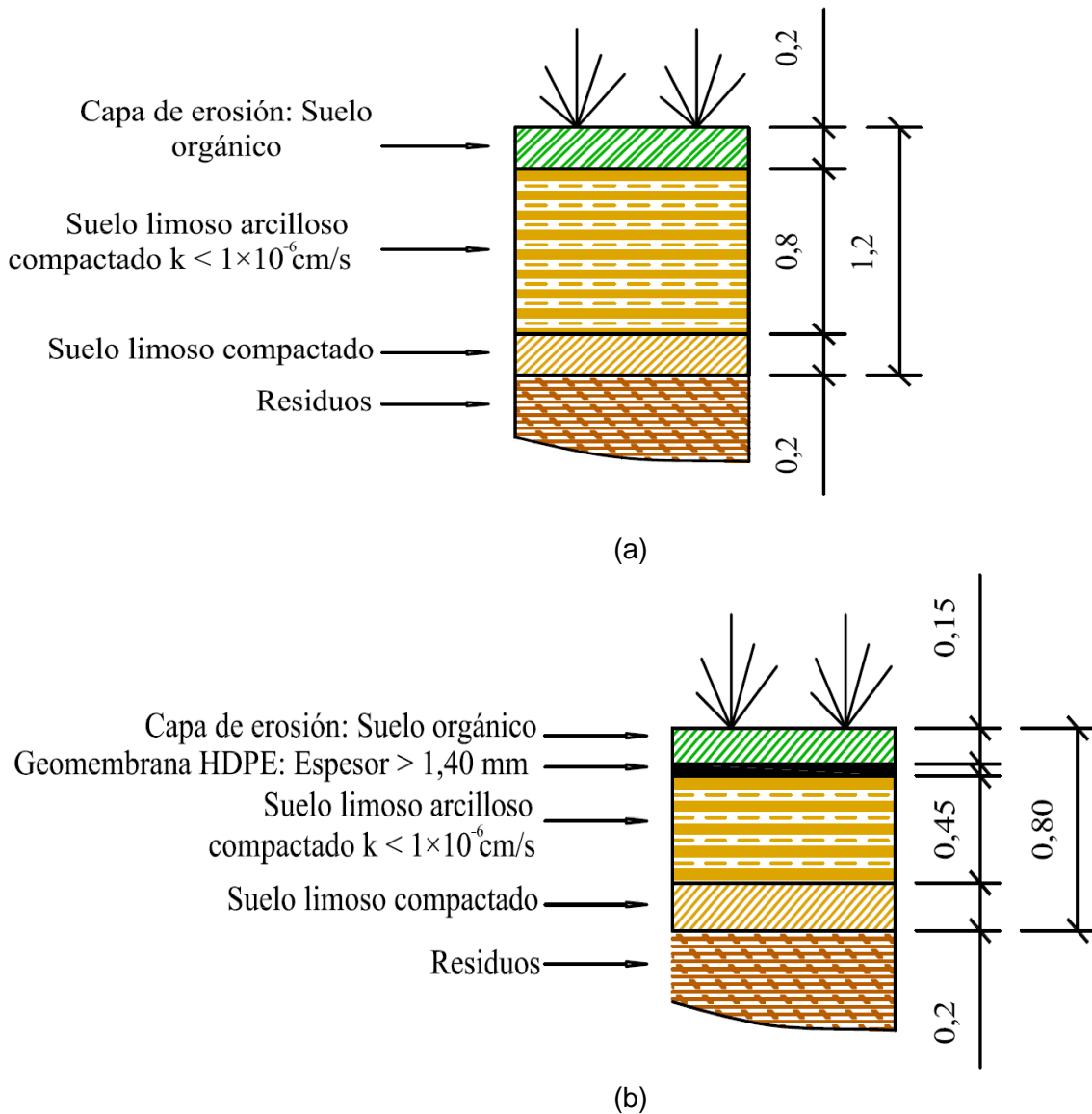


Figura 25. Alternativas seleccionadas para el sistema de cobertura. a) Alternativa 1 (Ordenanza 9612/97), b) Alternativa 2 (EPA 1998).

4.13:CLAUSURA

El plan de clausura presentado por CReSE contempla el sellado superior de las celdas para minimizar la infiltración de agua de lluvia y la producción de lixiviados y para una eventual explotación de biogás.

Para la cobertura final el aviso de proyecto considera un diseño planialtimétrico considerando la geometría adecuada para las tareas internas y externas y posibles modificaciones que se realicen en el sitio.

La cobertura denominada final propuesta en el aviso de proyecto responde a los requerimientos de la ordenanza de la Municipalidad de Córdoba N° 9612 año 1997. La misma propone una cobertura final de suelo compactado de un espesor total de 1,2 metros, a construir en capas de suelo compactadas de 0,20 metros de espesor. El grado de compactación a alcanzar deberá ser superior al 90% del indicado por el ensayo Proctor estándar. En una segunda etapa se prevé la colocación de una capa de 0,20 metros de espesor de suelo vegetal apto para la siembra de gramilla, para lograr mejor protección de la cubierta contra la erosión y lograr un manto vegetal permanente.

El plan de cierre prevé el perfilado de taludes y el manejo de pendientes inferiores al 30% para evitar problemas de erosión. El plan de trabajo presentado en el aviso de proyecto prevé que los trabajos de cierre y clausura se realicen a medida que se va completando la fosa.

El plan de clausura considera un manejo paisajístico que incluye la reforestación en las zonas donde se considere conveniente y reforzar la cortina forestal. Se plantea acondicionar las chimeneas de gas existentes pero no se indica detalles de cómo se realizará tal acondicionamiento ni si se realizará tratamiento alguno para el gas que se ventea por las mismas. El plan de cierre plantea realizar reparaciones y mantenimiento a los caminos y cunetas en el predio.

Respecto del plan de pos-clausura no se incluye ningún uso definitivo, contempla las actividades de mantenimiento de espacios verdes y de la cobertura final que incluye la limpieza y mantenimiento del césped y nivelación de la cobertura final, la fumigación y el control de plagas y vectores y se plantea la posibilidad de aprovechamiento de biogás.

Sin embargo como parte de los trabajos involucrados en el proyecto del cual forma parte esta práctica supervisada además del diseño del sistema de cobertura de las celdas, se realizaron diferentes propuesta en diferentes ámbitos, uno de estos es un plan de cierre del predio y la alternativa de manejo paisajístico del mismo. Esta propuesta paisajística se muestra en la Figura 26.

4.14:DIFICULTADES Y OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE LA OPERACIÓN.

A partir del análisis de la información disponible y las visitas realizadas al predio, se pudieron observar los siguientes aspectos particulares que se consideran condicionantes para el cierre del predio:

- El peso unitario máximo de los residuos compactados es bajo en muchos sectores.
- En los taludes no se realiza compactación del suelo por problemas de operación en ese sector.
- La eficiencia del sistema de colección de lixiviados es baja.



Figura 26: propuesta paisajística.

- La instalación de venteo de gases es precaria y no se la puede considerar sin modificaciones para el sistema de colección y tratamiento de gases una vez clausurado el sitio.
- La fosa donde se inició el enterramiento está completa y cubierta de manera transitoria mediante suelo del antiguo basural, en el mismo se observan residuos expuestos. La cobertura vegetal es escasa. Esta cobertura no puede considerarse parte del sistema de cobertura final permanente pero sí cumple condiciones para ser considerada la base de la misma.
- Se puede observar que en muchos casos sobre los taludes los residuos se colocan en contacto directo con el geotextil.
- El sistema de drenaje superficial evidencia mantenimiento deficiente y problemas de erosión localizados.

Algunos de los aspectos arriba mencionados resultan del cambio en el uso y concepción del predio con el tiempo ya que el mismo fue seleccionado por las gestiones municipales anteriores para ser un enterramiento transitorio. Sin embargo, el uso del predio se fue extendiendo en el tiempo debido a las necesidades de disponer los residuos y no contar con alguna otra alternativa de tratamiento y disposición en la actualidad

4.15: SÍNTESIS.

En este capítulo, se describe la situación en la que se encuentra el predio Piedras Blancas, se hace una breve descripción de su ubicación con respecto a la ciudad y se detallan algunos datos técnicos de importancia para el trabajo, como la cantidad de residuos que hay en el sitio y su densidad. Se puede enumerar los siguientes aspectos de importancia:

- Se menciona como se van a tratar los líquidos lixiviados resultado de la descomposición de los residuos.
- Análisis del gas que hay en el vertedero y la comparación de las concentraciones existentes con los límites permitidos.
- Sistema de cobertura elegida para el vertedero.
- Recomendación para la clausura.

CAPITULO 5: DESARROLLO DEL PROYECTO.

5.1:INTRODUCCIÓN.

El siguiente capítulo constituye la parte fundamental de esta práctica supervisada, donde se tratan los temas principales de la misma, como el cálculo de los valores de líquido condensado, se muestran los valores del caudal de gas que se va a generar en el vertedero a lo largo de su vida útil, estos son datos de mucha importancia ya que de ellos depende el diseño de la red de captación del gas. Una vez que se cuenta con estos valores, se avanza en el capítulo con las propuestas de las diferentes alternativas para la captación, se hace el análisis correspondiente, se elige la propuesta definitiva y se desarrolla. En el capítulo se van a ver los resultados entregados por el software utilizado y las consideraciones que se tuvieron para cada caso. Además se detalla cada paso del cálculo con una memoria descriptiva de cada uno de los diferentes métodos utilizado.

5.2:GENERACIÓN DE GAS EN EL VERTEDERO

Como parte de los trabajos involucrados en el convenio específico de asesoramiento a la Municipalidad de la Ciudad de Córdoba se debió estimar la cantidad potencial de gas que se generaría en el predio de enterramiento Piedras Blancas considerando los residuos ya depositados y los que se depositarán hasta el cierre y clausura del predio.

Esta tarea fue desarrollada por el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil Manuel Juárez como parte de su Práctica Supervisada. La cantidad y caudal de gas a generarse son datos de gran importancia requeridos para el correcto diseño de la red de captura de gases y sistema de tratamiento de los mismos.

La determinación de la cantidad de biogás fue realizada utilizando cuatro modelos matemáticos diferentes ampliamente aceptados en la literatura internacional.

A partir de los resultados que se obtuvieron se analizaron los diferentes modelos utilizados y se decidió adoptar los valores entregados por el modelo LandGem. Se realizaron diferentes hipótesis de variabilidad de los parámetros que intervienen en la determinación de la cantidad de gas generados y a partir de los resultados obtenidos se definieron el caudal de gas mínimo, promedio y máximo esperado para el sitio.

Los valores definidos para el proyecto del sistema de colección y tratamiento de gases son los siguientes:

Caudal máximo: 0,69 m³/s

Caudal promedio: 0,58 m³/s

Caudal mínimo: 0,43 m³/s

5.3: GENERACIÓN DE CONDENSADO

Las condiciones de proceso en las que la formación del gas del relleno sanitario tiene lugar son tal que el resultado es una mezcla de gases a una temperatura típica de 30-40 °C con una humedad relativa de saturación aproximadamente del 100%. Cuando el gas se enfría, el vapor de agua condensa para formar el condensado, el cual puede acumularse en las conexiones de los colectores. El líquido condensado causa una reducción de la efectividad de la red de cañerías de gas y puede aún provocar un bloqueo total y grandes interrupciones. Por tanto es necesario incorporar medidas para la reducción y control de la acumulación de líquido. La corriente líquida de condensado está compuesta fundamentalmente por agua, trazas de compuestos orgánicos, y trazas de compuestos inorgánicos (Environment Agency, 2002-a).

Una vez que contamos con los valores del caudal de gas, se calcula la cantidad de condensado que se generaría a partir de la corriente gaseosa. Para realizar la estimación se siguió el procedimiento recomendado por el manual del USACE (2013) Los datos que se necesitan conocer para el cálculo de la cantidad condensado que va a generar el gas de la red son los siguientes:

- Caudal de biogás.
- Temperatura ambiente promedio del lugar en donde está el vertedero, en este caso se usó la temperatura media máxima, media mínima y media de la ciudad de Córdoba.
- Temperatura del gas dentro del vertedero, dato brindado por CIQA, por ensayos realizados entre abril de 2011 y Noviembre de 2013
- Humedad relativa del gas: se propusieron 5 humedades diferentes, para cubrir el amplio rango de posibilidades que pueden suceder dentro del vertedero y para garantizar que en las situaciones extremas la red funcione eficientemente.
- Densidad relativa del gas: la misma se estimar a partir de la composición del gas dentro del vertedero, proporción de metano y dióxido de carbono.
- Concentración de vapor de agua, se estima mediante cartas psicrométricas, este valor varia con la temperatura ambiente, la temperatura del gas dentro del vertedero y la humedad relativa del gas.

Las características físicas – químicas de los condensados dependen de:

- Naturaleza de los residuos dispuestos en las celdas
- Edad de los residuos
- Contenido de humedad
- Temperatura

- Tamaño y características geométricas de las celdas de disposición
- Condiciones climáticas.

La cantidad de condensado que potencialmente se generaría para el sitio se estimó a partir de diferentes hipótesis.

Para las temperaturas se consideraron las temperaturas medias, medias máximas y medias mínimas de la Ciudad de Córdoba:

Temperatura medias máximas: 25,2 °C

Temperaturas medias: 17,5 °C

Temperaturas medias mínimas: 12,1 °C.

El contenido de vapor de agua en el gas generado en Piedras Blancas fue determinado por CIQA en los monitoreos periódicos, el contenido es variable y el mismo depende de las condiciones de precipitación, temperatura ambiente y temperatura en la celda. Por tal motivo se realizó la estimación de cantidad de condensado a partir de considerar diversas situaciones de humedad en el gas.

La densidad del gas depende de la composición del mismo. Para este caso particular se consideró la composición típica de 50% de CH₄ y 50% de CO₂. Para esta composición corresponde una densidad de: 1,2 kg/m³.

La determinación de la cantidad de condensado que potencialmente se generaría a partir de la corriente gaseosa, se realiza mediante el uso de una carta psicrométrica. Para realizar la determinación del mismo se ingresa a la carta con los valores de temperatura media en el eje de abscisas, se localiza la curva correspondiente a la humedad relativa y a partir de la intersección entre la recta vertical y la curva se determina la cantidad de condensado, en gramos de agua, leyendo en el eje de ordenadas. En la Figura 27 se puede observar con un ejemplo.

El procedimiento se repitió para las diferentes humedades y temperaturas planteadas. En la Figura 28 se muestran los resultados obtenidos, considerando los tres caudales de gas diferentes para distintos contenidos de humedad en el gas y para diferentes temperaturas.

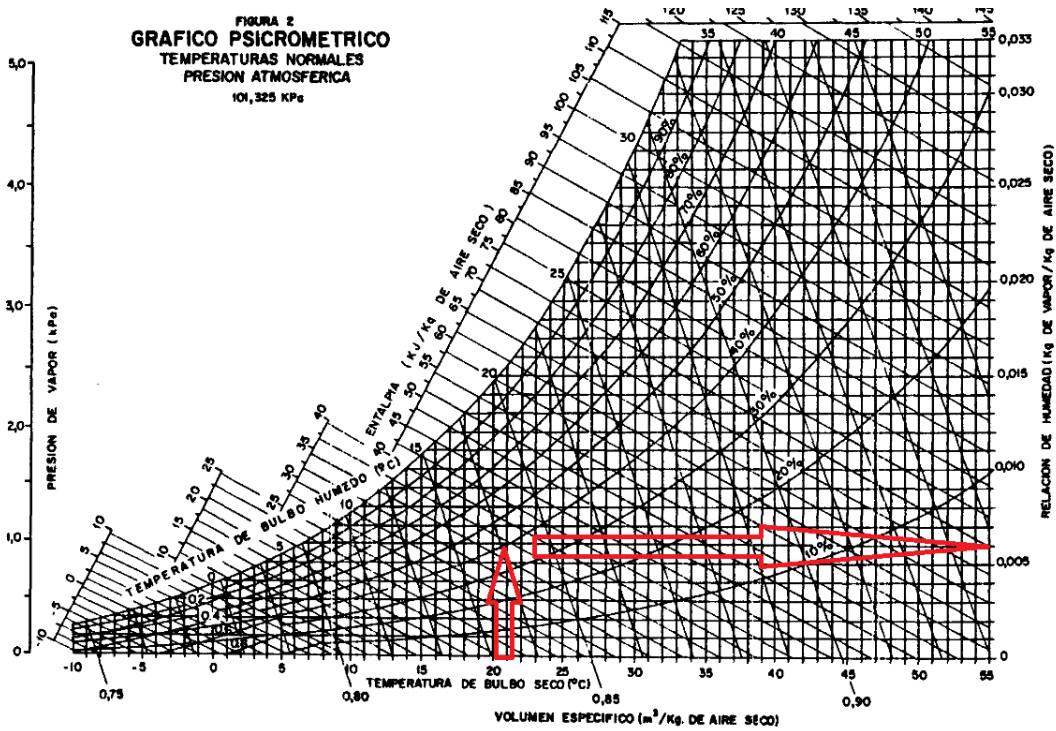


Figura 27: Diagrama Psicrometrico.

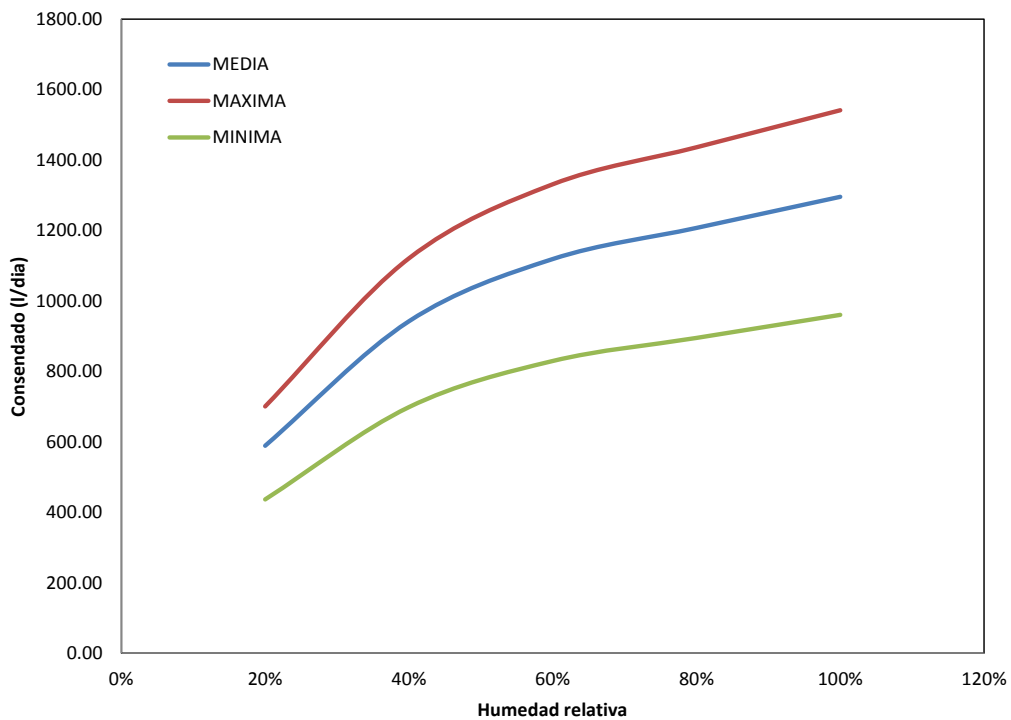


Figura 28: Caudales de condensado generados para diferentes contenidos de vapor de agua en el biogás considerando temperatura ambiente media de 17,5° C.

Como se puede observar, a medida que más humedad se tiene, mayor es la generación de líquido condensado.

Para las condiciones del predio se estima entre 1000 y 1700 litros por día de condensado en el biogás.

5.4:PROPUESTA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE BIOGÁS.

5.4.1:Planimetría

Debido a las características del predio y a la forma de trabajo llevada a cabo por la empresa operadora del predio Piedras Blancas, para la captura del gas se considera un sistema de extracción constituido por pozos o chimeneas verticales. Estos pozos o chimeneas se interconectan entre sí por medio de tubos de cabecera, formando una red y conduciendo el gas capturado hasta el punto de tratamiento.

La distribución de los pozos de captura en la celda se realizó de forma tal de poder abarcar la mayor superficie de la misma para lograr capturar la mayor cantidad de gas posible minimizando las pérdidas a la atmósfera.

Para el prediseño de la distribución de los pozos se consideró un radio de influencia de los mismos de 30 metros de acuerdo a lo recomendado en USACE (2013) y en Sharma y Reddy (2004) y considerando distancias de 60 metros entre ramas de las tuberías horizontales de interconexión.

El área de influencia de cada pozo es muy variable y depende de varios factores, entre los más importantes se pueden mencionar las limitaciones prácticas para la aplicación de vacío en los casos de sistemas activos de extracción de gases, la transmisividad horizontal y vertical de los residuos dispuestos, la profundidad al nivel de encharcamiento de lixiviados y la presencia de charcos de lixiviados “colgados” en la masa de residuos y la configuración geométrica del sitio (Conestoga – Rovers et al. 2010).

Lo primero que se hizo antes de plantear las alternativas propuestas fue analizar qué tipo de alternativas desde el punto de vista geométrico se podía adaptar al diseño del vertedero ya existente. Se plantearon diferentes alternativas:

- Primero se planteó una configuración de las cañerías verticales del tipo tresbolillo, donde hay un caño colector principal horizontal a lo largo del vertedero a partir del cual se conectan cañerías secundarias en forma de espina de pescado- En los extremos de estas cañerías secundarias como del nudo entre estas y el tubo colector se disponen los pozos de colección de gases. Estos pozos están dispuestos a tresbolillo en planta. Esto nos da un total de 28 pozos verticales a lo

largo de todo el vertedero, cubriendo un 34% del área del vertedero, con áreas de influencias de captación de gas de 60m de diámetro. En lo que refiere a la profundidad, ocupan casi toda la profundidad del vertedero hasta 2m por encima de la cota de fondo (480m S.N.M).

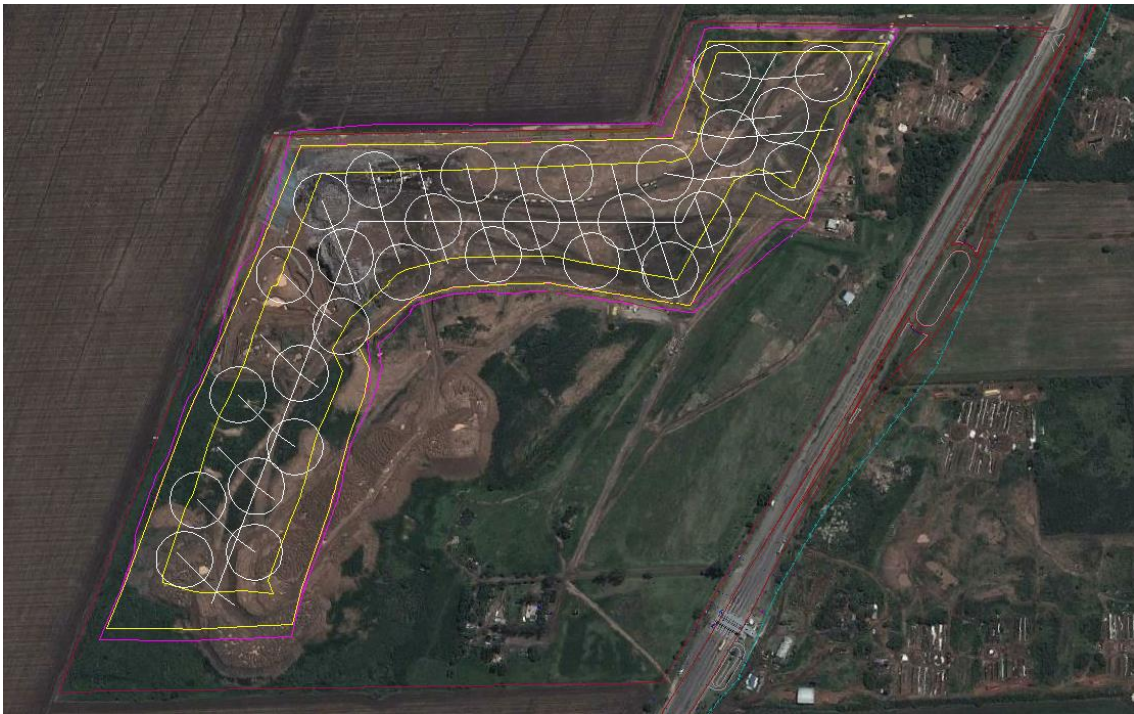


Figura 29: Alternativa de distribución de pozos considerando tuberías horizontales en espina de pescado y pozos distribuidos a tresbolillo.

- Como segunda alternativa se trató de buscar la solución que mejor se adecue al diseño del vertedero debido a la no uniformidad del vertedero, de la captación radial de los pozos verticales y la necesidad de abarcar la totalidad de la planta con sus radios de influencia. La alternativa que se propuso fue un diseño parecido al caso anterior pero en vez de tener los pozos de captación alineados a tresbolillo, fueron colocados en todos los nudos y extremos de las tuberías horizontales, así se obtuvo una mayor cantidad de tuberías verticales, cubriendo una superficie relativa al vertedero del 46% con un total de 38 pozos, aumentando la efectividad de los pozos, siempre manteniendo la forma de espina de pescado en lo que son tuberías horizontales.

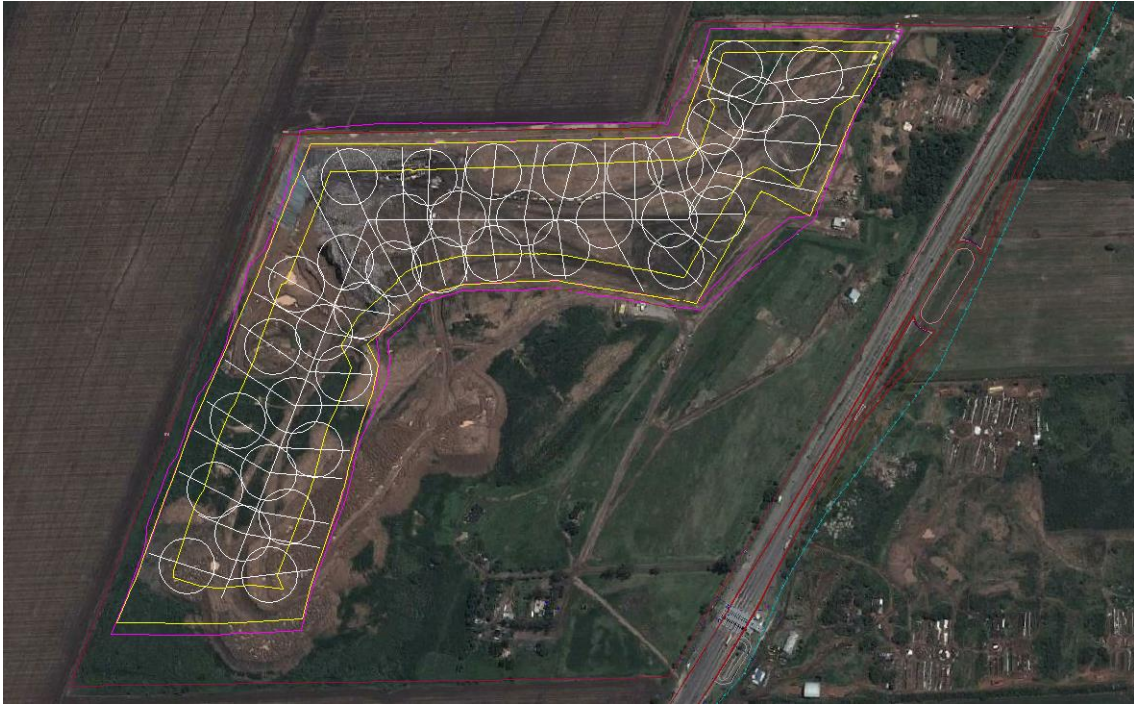


Figura 30: Alternativa considerando conductos horizontales formando espina de pescado con pozos verticales en cada extremo de las tuberías y en los nudos de las tuberías horizontales.

- Por último se planteó otro tipo de propuesta, USACE(2013), es una distribución matricial de las cañerías, esto consta de 3 cañerías principales y de colección horizontal, de las cuales 2 van por los bordes exteriores del vertedero y otra cañería central, luego hay cañerías secundarias que unen a estas cada una cierta cantidad distancia donde se determinó conveniente para la colección y distribución tanto del gas como del líquido condensado, además se colocaron cañerías verticales, tanto en los nudos de intersección de esta matriz de cañerías horizontales como en donde la eficiencia de los radios de los caños verticales no cubría la captación del gas. Así quedó una red compuesta por 54 pozos, cubriendo un área del 66% del vertedero. Esta distribución planimétrica fue la que mejor se adaptó a la planimetría del vertedero, dejando la mayor parte del vertedero cubierto por las zonas de influencia de los pozos de colección de gas.

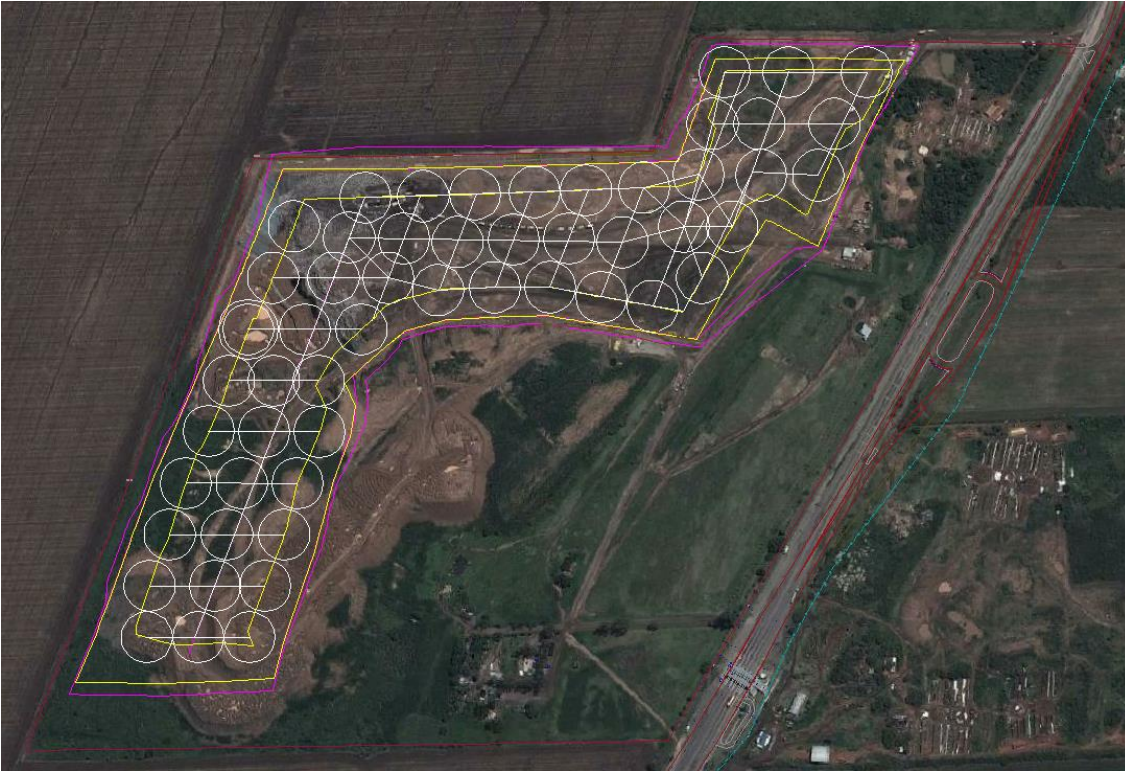


Figura 31: Alternativa considerando distribución matricial, tres conductos horizontales longitudinales principales y ubicación de pozo en cada nudo.

De manera adicional se tomaron ciertas consideraciones de los caños a la hora de diseñar la planimetría, en lo que respecta a los caños verticales el manual indica un campo de eficiencias a los que pueden trabajar estas tuberías dependiendo de una cierta cantidad de factores, en este caso se adoptó un radio de influencia de captación de gas para estas tuberías de 30m. Cabe mencionar que se tuvo el cuidado de plantear que todas las tuberías verticales resulten posicionadas dentro del vertedero en donde tiene la celda tiene la totalidad de su profundidad, alejando de esta forma las perforaciones de los taludes laterales y minimizando los riesgos de daños a la geomembrana inferior durante las operaciones de perforación. A su vez la posibilidad de contar con el desarrollo completo del pozo de captura permite que los mismos trabajen con la mayor eficiencia posible.

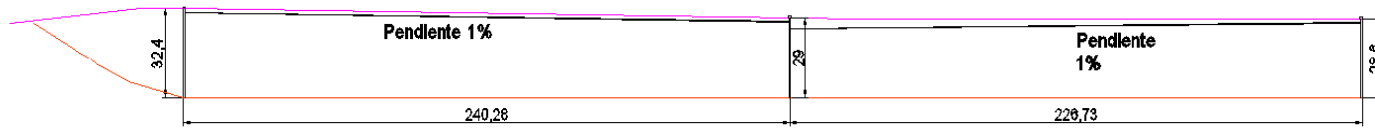
5.4.2: Altimetría

Para el diseño altimétrico también se tuvieron en cuenta algunas consideraciones particulares. En primer lugar se consideró las pendientes de las tuberías horizontales de acuerdo a lo que se plantea en el manual. En tal sentido en el equipo de trabajo se adoptó el criterio de tomar las pendientes mínimas asegurando en todos los casos que la tapada máxima de la tubería sea de tres metros. Este criterio se adoptó a efectos de garantizar la ejecución de las obras y no encarecer el proyecto..

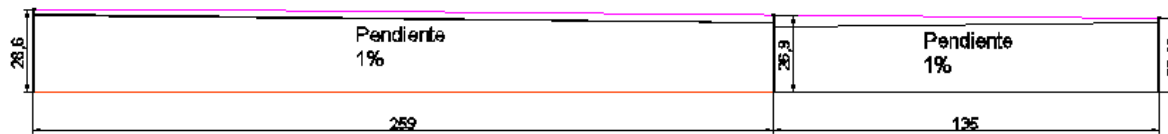
El manual USACE (2013) diferencia en las pendientes, si el líquido de condensado y el gas van en la misma dirección o no, y además si las cañerías van a estar dentro o fuera del vertedero, las pendientes recomendadas varían entre el 1% y el 4%. Lo que se decidió en para este caso, fue tratar de llevar las cañerías a la pendiente natural del terreno, es decir copiando la pendiente que llevaba el trazado del vertedero, pendiente adoptada en la primer etapa del proyecto, esta cañería además enterrada dentro del vertedero con una tapada mínima de 1,5m que es lo que se recomienda. Y en los lugares donde no cumpla con la condición de mínima pendiente(1%), dárselo obligadamente aunque en estos casos quedando enterrada la cañería algunos metros más que la tapada mínima.

Para el diseño de estas tuberías horizontales, lo primero que se realizó para simplificar el diseño, fue dividir el vertedero en 3 planimetrías diferentes, así se podía ver en forma más claras los diferentes cortes que se realizaron del vertedero, se trazaron cortes del vertedero en forma longitudinal por donde se ubicarían las cañerías horizontales, luego se ubicó los nodos críticos, es decir los puntos de colección de condensado y gas, y de allí con las consideraciones recién explicadas se asignaron las diferentes pendientes y quedo la red en forma planialtimétrica. La ubicación de los cortes se puede ver en el anexo 2, plano N°12 y los cortes longitudinales se ven en la Figura 32 .

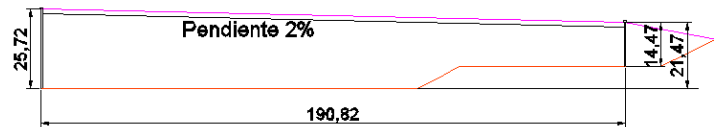
Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.



CORTE A-A ZONA 1



CORTE B-B ZONA 2



CORTE C-C ZONA 1

Figura 32: Cortes longitudinales del vertedero donde se aprecian pendientes de los caños horizontales.

En conjunto con el diseño de la planialtimetría, se definieron los nodos particulares de la red, estos eran tanto los puntos de concentración de gas como los de colección de condensado. Se propusieron 3 puntos de concentración de gas en la totalidad de la red, tratando de que sean los puntos de mayor altura geométrica y además que estos abarque la mayor cantidad de gas con el menor recorrido posible y en cantidades parecidas para los puntos de colección, estos puntos se muestran en el anexo 2 en el plano N°3. Además se tuvo en cuenta para estos puntos de colección la comodidad en lo que respecta a la accesibilidad para los operadores que se encarguen del mantenimiento de la red.

En lo que refiere a los puntos de colección de condensado, se obtuvieron de los 3 puntos bajos que dejó el diseño de cañerías horizontales. Además fuera de la red, antes de darle algún tipo de tratamiento al gas se ubican trampas para el condensado generado una vez extraído el gas del vertedero. Estas trampas de condensado se muestran en el anexo 2, plano N°3.

Una vez realizadas todas las consideraciones plani-altimétricas, se puede observar en el anexo 2 como quede el plano final con sus respectivas cotas y su ubicación con coordenadas el plano N°3.

5.5: DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE CAPTURA Y COLECCIÓN DE GASES.

Para el diseño de las características técnicas de la red de colección de gases se consideraron las recomendaciones técnicas del USACE EM 200-1-22 (2013) y el manual “Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines” de la provincia de British Columbia en Canadá (2010).

La red de captura de gas estará compuesta por 54 pozos verticales. Los mismos deberán ser perforados mediante trépanos, helicoides, triconos, o mediante sistema de percusión. Para la perforación no se puede utilizar bajo ningún concepto lodos bentoníticos para la estabilización de las perforaciones. La localización de los pozos se encuentra detallada en el plano de la *Figura 39*.

El diámetro de las perforaciones para los pozos deberá ser al menos de 20 centímetros. Las perforaciones se deben extender en profundidad variable dependiendo de la ubicación de las mismas en la celda de enterramiento. En todos los casos las mismas se deben detener a una profundidad de al menos 2 metros antes de alcanzar la cota de la barrera impermeable inferior.

Las perforaciones deberán ejecutarse en todos los casos de manera previa a la materialización del sistema de cobertura superior definitiva.

Una vez ejecutados los pozos se dispondrán en el centro de los mismos tubos de 110 milímetros de diámetro de PVC o HDPE. Estos tubos deberán estar ranurados hasta un tramo de dos metros previos al alcance de la superficie de la perforación.

En el espacio libre entre los tubos ranurados y la pared de las excavaciones se deberá disponer un filtro granular compuesto de una mezcla de arena gruesa limpia y grava, con tamaño máximo de partículas de 30 mm. El filtro granular se deberá extender hasta 45 centímetros antes de alcanzar la superficie. Luego de interrumpido el filtro se dispondrá una capa de transición de aproximadamente 15 centímetros de altura de arena fina limpia. Luego se materializará un tapón obturador impermeable para prevenir el ingreso de aire al tubo de captación, mediante la disposición de una capa de al menos 30 centímetros de altura de suelo – bentonita

Los empalmes entre los pozos verticales y los conductos horizontales se harán en todos los casos por encima del nivel de finalización del tapón de suelo bentonita. La profundidad de estos empalmes será variable entre 1,5 y 3 metros dentro del cuerpo de residuos enterrados dependiendo de la posición de los pozos y las pendientes de los conductos horizontales. Desde la Figura 33 hasta la Figura 35 se incluyen los detalles constructivos de los pozos de captura de gases y también quedan anexados el resto de los detalles en el anexo 2.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

1. Tapón de suelo – cemento – bentonita:
 - $k < 4 \times 10^{-6}$ cm/s.
 - Resistencia a la compresión simple mayor a 400 kPa a los 28 días.
 - Mezcla: 50% suelo + 3% bentonita + 13% cemento + 34% agua.

2. Arena fina:
 - Pasante tamiz 40 mayor al 7 %.
 - Pasante tamiz 200 menor a 3 %.

3. Filtro granular:
 - Mezcla 50 % Grava + 50 % Arena gruesa.
 - Tamaño máximo partícula 20 mm.
 - Retenido tamiz 40 mayor a 70 %.
 - Pasante tamiz 200 menor a 1 %.

- Tubo PVC Ranurado.
- Tuvo espesor 6mm.
- Ranuras horizontales en dos cuadrante.s

- Separación ranuras: 25 mm.
- Ancho ranura: 2.5 mm.

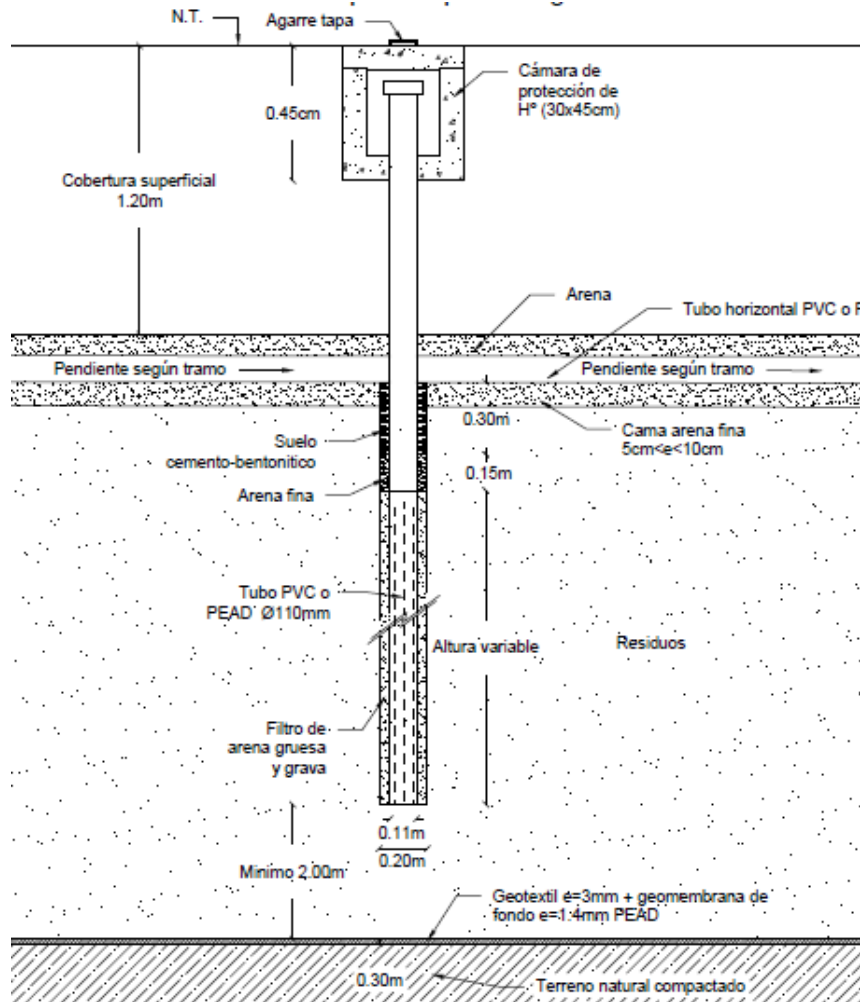


Figura 33: Detalle constructivo de los pozos de captura de gas.

Los conductos horizontales deberán ser de PVC o HDPE de 110 milímetros de diámetros. Estos conductos no deben ser ranurados en ningún sector a efectos de maximizar la eficiencia de extracción de los pozos verticales.

Los conductos horizontales deberán disponerse en trincheras excavadas en el residuo. Estas trincheras tendrán un ancho de 30 centímetros. Una vez excavadas las trincheras, con la pendiente de fondo correspondiente se dispondrá una capa de arena fina a efectos de garantizar una correcta fundación de los conductos horizontales. Esta capa de arena fina de fundación no podrá tener un espesor inferior a 15 centímetros. Una vez dispuestos los conductos se cubrirán los mismos con

una capa de arena fina de forma de garantizar una altura de trinchera total de al menos 30 centímetros.

En los pozos indicados en el Plano de la *Figura 39* se conectarán las válvulas correspondientes.

En todos los pozos en donde se dispongan válvulas, se deberá construir alrededor de la cabeza del pozo una cámara de hormigón de protección para posibilitar el acceso del personal a la operación de las válvulas y control de los pozos. Estas cámaras tendrán un ancho interno libre de al menos 1 metro para posibilitar el acceso cómodo de operarios y las operaciones correspondientes. Las cámaras tendrán profundidades variables dependiendo de la cota correspondiente de la cabeza del pozo en cuestión. Dentro de las cámaras se deberá contar con una escalera marinera anclada al muro de hormigón. Estas cámaras de hormigón deberán estar fundadas en el residuo, para lo cual en el contacto entre los residuos y las paredes y losas de hormigón se debe interponer una capa de al menos 30 centímetros de espesor de suelo – cemento – bentonita. Los detalles constructivos se muestran en la *Figura 34*.

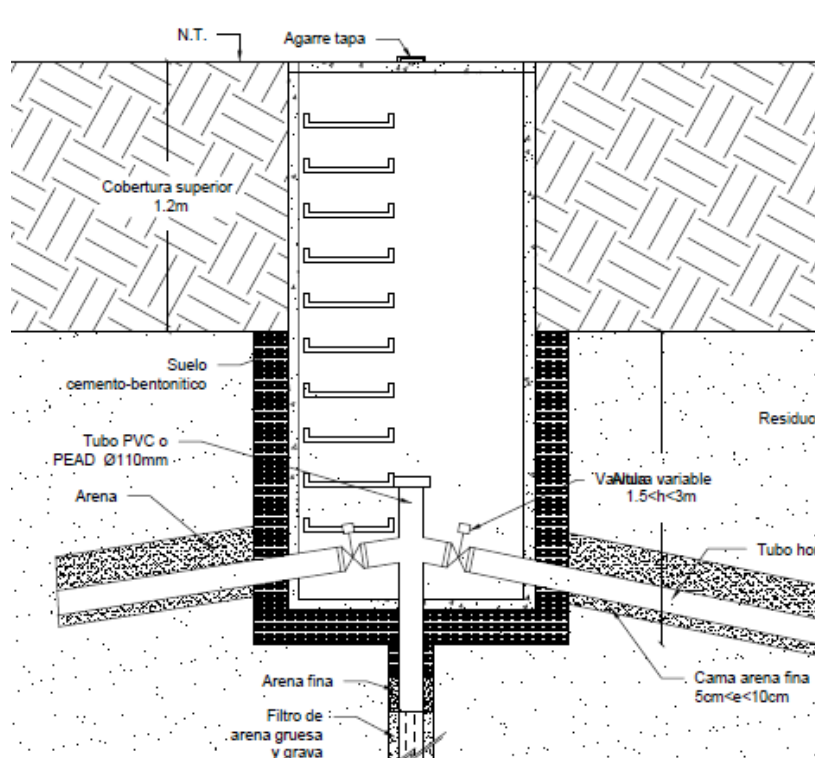


Figura 34: Detalle de ubicación de válvulas y cámara de inspección.

En el caso de los pozos en cuyas cabezas no se dispongan válvulas de control y operación, los conductos verticales se extenderán hasta 15 centímetros antes de la superficie del sistema de cobertura. La cabeza de los pozos se alojará en una cámara de hormigón cuadrada de al menos 30

centímetros de lado, 30 centímetros de profundidad y deberá contar con tapa superior. La tapa superior deberá finalizar al nivel del terreno luego de construido el sistema de cobertura final, en la Figura 33 se muestra un detalle de esto. Todos los conductos de PVC o PEAD deberán contar con una tapa superior hermética y removible de manera que garanticen el acceso para tareas de mantenimiento o tareas de monitoreo de calidad de gases.

Todas las conexiones y empalmes deben ser flexibles, de manera que permitan absorber los asentamientos posibles de ocurrir debido al cambio de volumen por degradación de los residuos.

En el caso de utilizar sistema de cobertura superior de la celda de enterramiento con colocación de geomembranas, el detalle del paso de los conductos a través de la geomembrana es de fundamental importancia para impedir la percolación de agua de precipitaciones y la salida de gases del interior de la celda. Esta unión se puede resolver mediante la ejecución de la perforación conveniente en la geomembrana y la colocación de una arandela del mismo material fijada convenientemente al tubo y luego soldada con aporte de material sobre la geomembrana de cobertura. En la Figura 35 se muestra un detalle de esto.

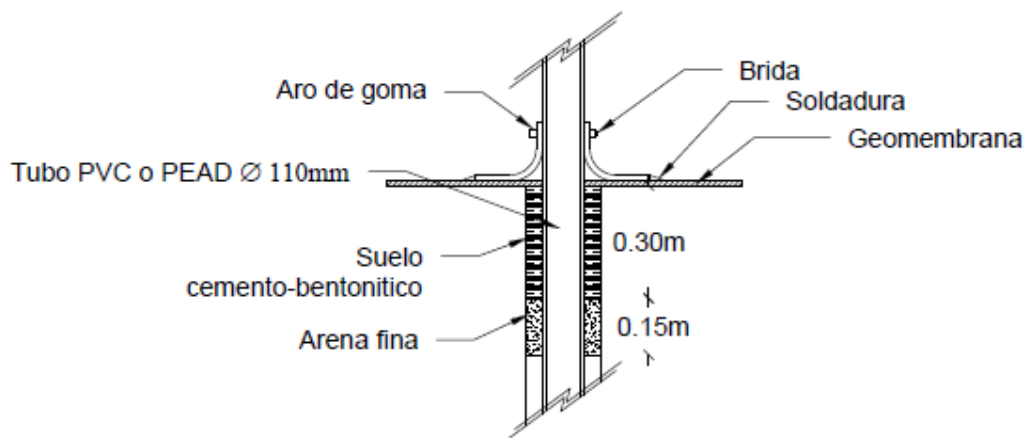


Figura 35: Detalle unión tubería – geomembrana superior.

5.6: DISTRIBUCIÓN DE VÁLVULAS Y BOMBAS.

En lo que se refiere a la distribución de las válvulas, se tuvo en consideración tanto la economía del proyecto como así también la funcionalidad de las válvulas para el fácil mantenimiento y operación de la red de captura de gas. Las válvulas se dispusieron en lugares estratégicos y cada una cierta distancia, para perder la menor cantidad de metros de cañería a la hora de encontrar averías, como

así también para el caso de la limpieza de las mismas. Además se tuvieron en consideración aspectos técnicos como, el rango de temperatura, capacidad y presión, durabilidad, pérdidas por fricción admisibles. En conclusión se eligió una válvula tipo mariposa, ya que se adapta bien al sistema con una rápida operación y con poca pérdida de presión.

En lo que respecta a las bombas, se analizó primero con qué tipo de sopladores se contaba en el mercado local y cuáles eran los que se adaptaban para este caso. Se encontró un proveedor en el país que comercializa este tipo de sopladores. En base a los manuales de las máquinas ofrecida por esta firma se realizó la elección de los sopladores, con el caudal y la altura a la cual tenían que operar, y se decidió colocar 3 bombas en los puntos altos de la red para la captación del gas. Estos puntos se eligieron estratégicamente para que la red trabaje con la mayor eficiencia posible y cada bomba trabaje con caudales similares.

En la Figura 36 se muestra la gama de curvas características de los sopladores provistos por MAPRO, se seleccionó un modelo CL 72/1, cuya curva característica se resalta en la Figura 36.

Dicho soplador cuenta con las siguientes características:

Caudal max: 820 m³/h.

Presión de salida max: 425 hPa = 4.33 mH₂O

Frecuencia: 50 Hz.

Rango de Potencia: 4 – 15 KW.

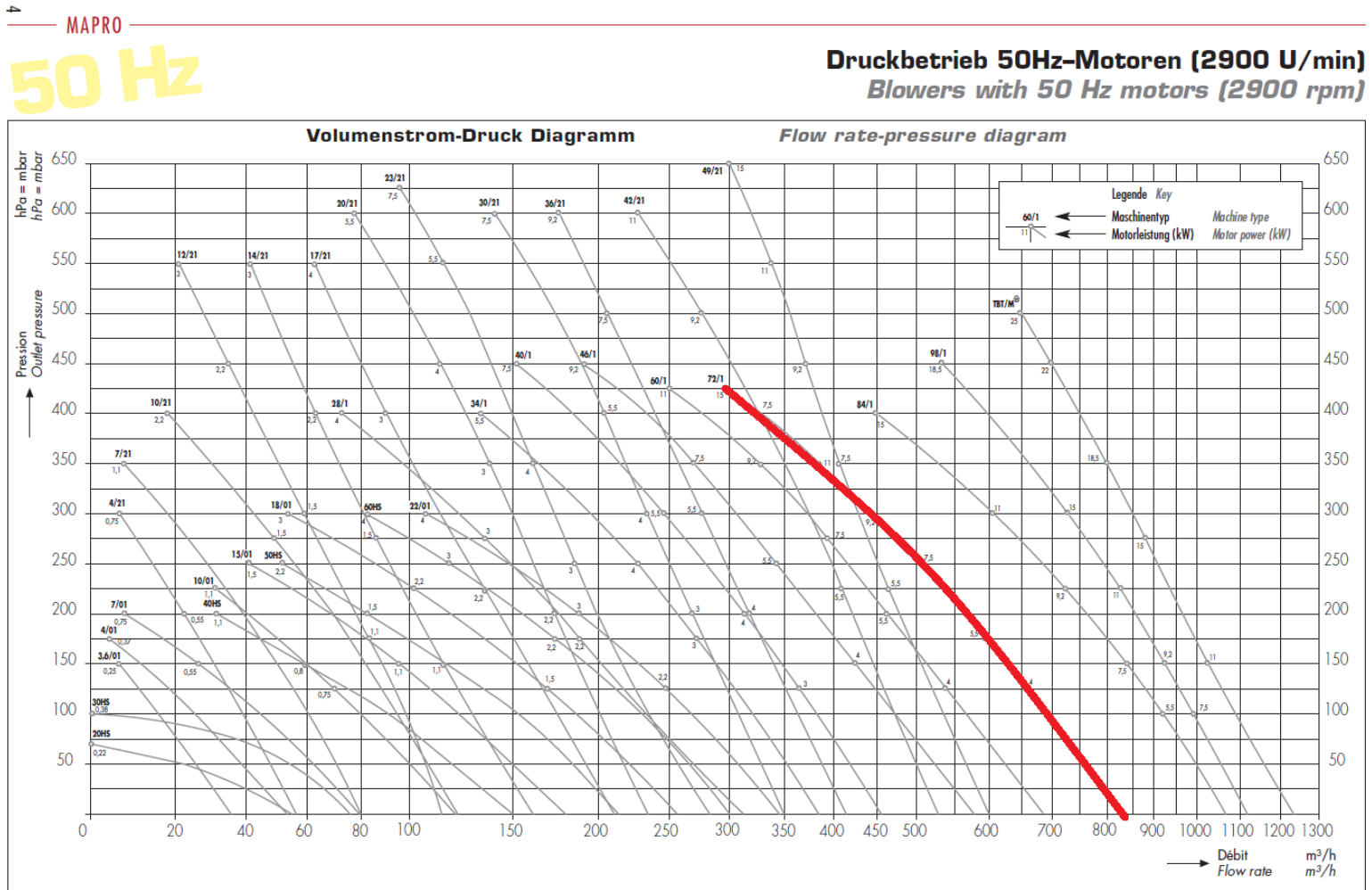


Figura 36: Curvas características de los soplores Mapro.

5.7: CALCULO DE LA LÍNEA DE ENERGÍA TOTAL EN LA RED.

Para el cálculo de las pérdidas en la red, como no es común las redes de biogás y de captación de gas en general, se trató de adaptar un programa de cálculo de pérdidas en tuberías de un fluido como el agua, mediante el cambio de algunos parámetros para salvar las diferencias entre estos fluidos. Se llegó a una simplificación del problema, pudiéndose encontrar las perdidas en el sistema. Existen diferentes métodos para calcular las pérdidas por fricción en tuberías, para el caso de gas lo más usual es usar la fórmula de Darcy – Weisbach (Streeter y Wylie 1994);, y está probado que tienen un error inferior al 10% comparado luego con la experiencia práctica.

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f v^2}{D 2g}$$

En donde h_f es la pérdida de carga por fricción, L es la longitud de la tubería, f es el coeficiente de pérdidas hidráulicas determinado a partir del ábaco de Moody, D es el diámetro de la tubería, v es la velocidad de flujo y g es la aceleración de la gravedad.

Para realizar los cálculos se empleó un modelo computacional de acceso público desarrollado por la EPA, el EPANET. Éste es un programa que permite realizar simulaciones en períodos extendido del comportamiento hidráulica en redes. En general una red modelada debe constar de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. Mediante este programa se puede determinar el caudal de fluido en cada una de las ramas de la red, la presión en cada uno de los nudos y las pérdidas por fricción en cada rama de la red.

A efectos de verificar el correcto funcionamiento del modelo computacional, se hizo la prueba con un problema ya resuelto, del libro “FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE LOS FLUIDOS” (Streeter y Wylie 1994)

Para el caso de este ejemplo se planteó el siguiente problema de dicho libro:

En la Figura 37 $L_1=900\text{m}$, $D_1=0.3\text{m}$, $e_1=0.0003\text{m}$, y $L_2=600\text{m}$, $D_2=200\text{mm}$, $e_2=0.00003\text{m}$; $L_3=1200\text{m}$, $D_3=400\text{mm}$, $e_3=0.00024\text{m}$; $\rho = 104.8 \text{ UTM}/\text{m}^3$, $v = 0.000003\text{m}^2/\text{seg}$, $P_a=6\text{Kg}/\text{cm}^2$; $Z_a=30\text{m}$; $Z_b=25\text{m}$. Para un caudal de $0.34\text{m}^3/\text{seg}$, determinar el caudal a través de cada una de las tuberías.

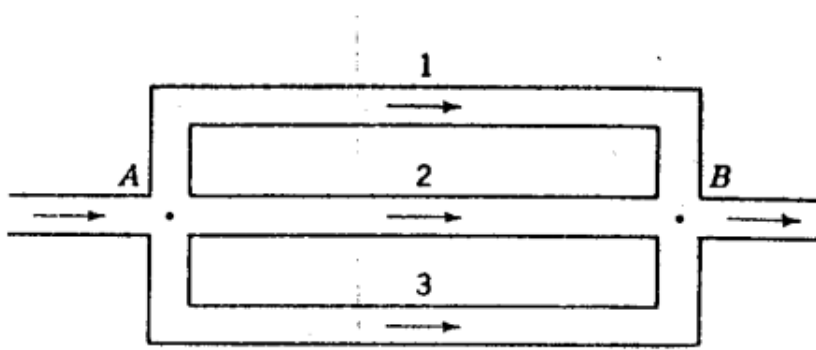


Figura 37: Ejercicio planteado. (Streeter y Wylie 1994)

Creemos que con el análisis del primer problema, ya podemos ver y comparar el funcionamiento del software adoptado.

En este caso práctico dieron como resultado las siguientes velocidades

$$V_1 = 4.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 = 4.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_3 = 4.80 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este mismo problema se planteó en el EPANET, y se muestran los resultados en la Figura 38

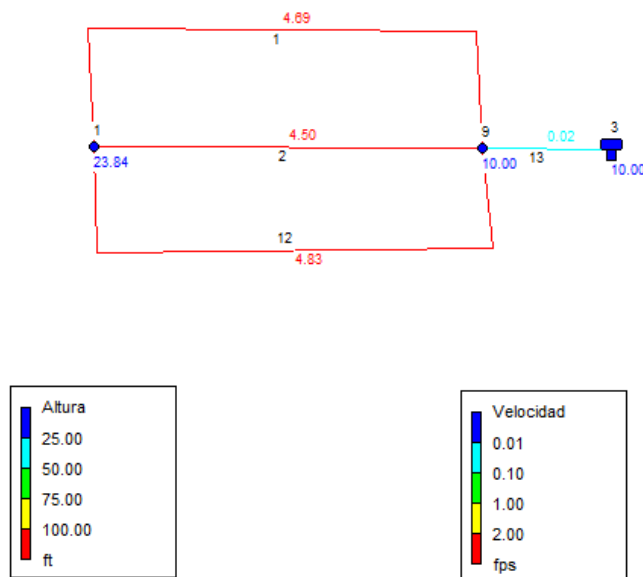


Figura 38: Resolución problema en el EPANET 2.0.

Lo que se realizó en este caso fue:

1. Se dibujó la red planteada en el libro, lo más parecida posible, con los datos de entrada que daba el ejercicio: diámetros, longitudes, rugosidades-
2. Se hizo correr el programa con un tanque supuesto que no había en el problema original, esto se hace para que el programa pueda ejecutarse, ya que sin un tanque no se puede ejecutar, el programa necesita enviar el fluido a algún reservorio.
3. Se le pidió como dato de salida las velocidades en las 3 tuberías.
4. Se comparó resultados con el ejercicio, en el ejercicio calcula también los caudales como resultado final, pero este resultado no cambia ya que con las mismas velocidades y áreas serían iguales los caudales.

Las velocidades determinadas con EPANET son:

$$V_1 = 4.69 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 = 4.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_3 = 4.83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dando un error menos que el 10% en todos los casos

Una vez que se probó y comparó los resultados obtenidos por este software con los resultados sacados del material teórico, dando resultados muy similares, se tomó la decisión de usar este programa para el cálculo de la red de biogás y así determinar la línea de energía en la misma, velocidades y caudales en cada rama.

Lo primero que se realizó fue la incorporación de la geometría de la red al programa considerando los siguientes datos:

- Diámetros.
- Longitudes de tubos horizontales.
- Longitudes de pozos verticales.
- Distancia entre cabezales de pozos.
- Rugosidad del material a emplear, en este caso se usó la del PVC, pudiendo usar la de PEAD ya que el resultado no tiene un cambio significativo.
- Peso específico del gas.
- Viscosidad relativa del gas.
- Caudales en cada pozo, obtenidos de la generación de biogás en el vertedero.

Lo primero que se ingresó al programa fueron el peso específico relativo (0.00135) y la viscosidad relativa del gas, ($1.21 \cdot 10^{-5}$), parámetros recomendados por USACE 2013. También los datos de

input que se les dieron al comienzo al programa fueron los diámetros utilizados para cada rama, y la rugosidad relativa del material, en este caso PVC con una rugosidad de 0.0015 recomendada por el manual del EPANET 2.0.

Luego se dibujaron los nodos de la red, la misma consta de 54 nodos. Los nodos fueron interconectados con las tuberías correspondientes. El comportamiento hidráulico de la red fue simulado con dos diámetros diferentes: 2, 80 y 110 milímetros, estos se realizó para ver el funcionamiento de la red y comprar los valores que daban como resultado.

A cada nudo se le asignó la cota correspondiente a la cabeza del pozo de extracción de gases y se modeló en cada nudo el caudal de ingreso de gas a la red, considerando el área de influencia de cada pozo y las tres situaciones de caudal de producción de gas: mínimo, medio y máximo. El caudal por pozo modelado se encuentra entre 12 y 30 m³/h para la situación de mínima, entre 17 y 40 m³/h para la situación promedio y entre 22 y 48 m³/h para la situación de máximo caudal. El cambio en el caudal unitario por pozo se debe a cambios en el volumen de influencia de cada pozo debido a las diferentes profundidades dentro de las celdas. Estos valores se encuentran dentro de lo esperable, ya que los valores típicos de caudal del gas extraído por cada pozo se encuentra entre 25 y 75 m³/hr (Conestoga – Rovers, 2010).

Los sopladores preseleccionados fueron incluidos en los nudos 11, 30 y 53. Las características de los sopladores fueron incorporadas al modelo por medio de las curvas características de un solo punto que ofrece el programa, introduciendo una altura $h = 2,04$ m y un caudal $Q = 233$ l/s.

Para poder completar la simulación se modelaron tanques ficticios a ser llenados por los sopladores.

El programa nos da como resultados tanto la línea de energía total como también, las pérdidas, velocidades en las tuberías, el caudal que va llevar cada ramal, y algún otro resultado que puede ser de utilidad.

En la Figura 39 se muestra el esquema de la red modelada con la numeración de los nodos.

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

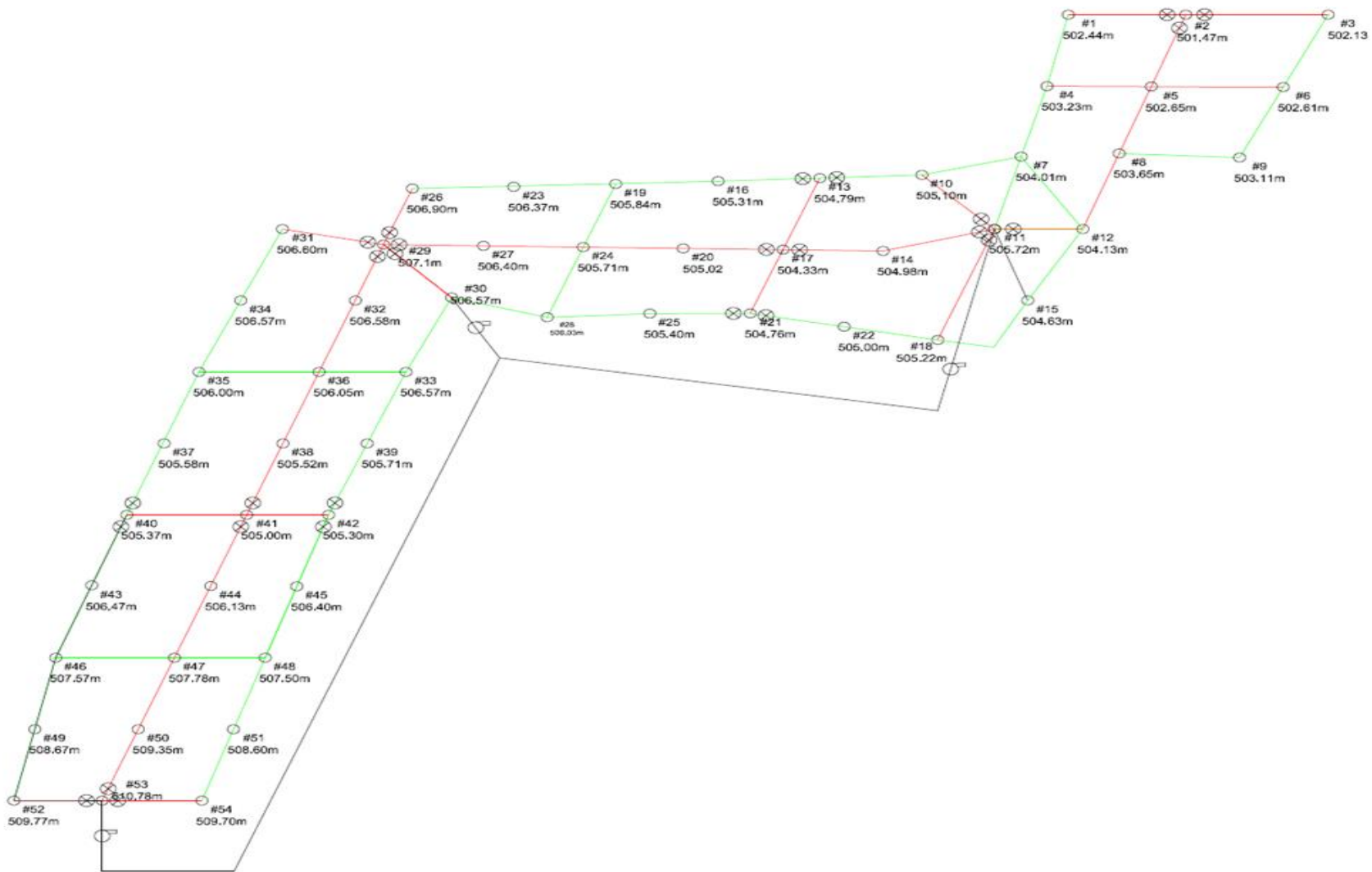


Figura 39: Modelo de la red de captación de gases.

5.8:ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de la modelación hidráulica de la red, se pudo determinar la línea de altura total en cada uno de los nodos, los caudales, velocidades y pérdidas de cargas en cada una de las ramas de la red.

En la Figura 41 y Figura 42 se muestran los resultados de caudales y las cotas de altura total para la situación de la red con tuberías de 110 mm de diámetro funcionando con caudal promedio y condiciones de recuperación en la celda del 85% y los resultados correspondientes de velocidades de flujo.

A partir de la inspección de la red se puede determinar que los caudales en los tres caños principales que conducen el gas al punto de tratamiento resultaron de aproximadamente 140 litros/segundo en dos ramas y 200 litros/ segundo en la tercera rama. Dentro de la red de captura en las celdas es posible observar que los caudales en las ramas alejadas a los puntos de captura comienzan en el orden de 1 litro/segundo alcanzando magnitudes de hasta 45 litros/segundo en los puntos de derivación al sitio de tratamiento.

Las velocidades de flujo determinadas comienzan en valores tan bajos como 0.1 segundos alcanzando valores de aproximadamente 1,2 m/s. En tanto que en los tres caños de conducción al punto de tratamiento las velocidades de flujo alcanzan niveles muy por debajo de los valores máximos permitidos de 12 m/s (USACE 2013).

Respecto de la línea de energía, se puede apreciar el cambio en la misma debido a la succión ejercida por los sopladores. Los puntos de conexiones de las tuberías principales representan los puntos de menor altura y los más alejados de estos puntos son los que tienen mayor altura. La diferencia de altura promedio entre los puntos de captación y los más alejados es de un metro de columna de agua equivalente. Lo que indica que las pérdidas de energía por fricción en las tuberías resulta bastante baja. Se puede observar en la siguiente figura como cambia la línea de energía a lo largo de la red.

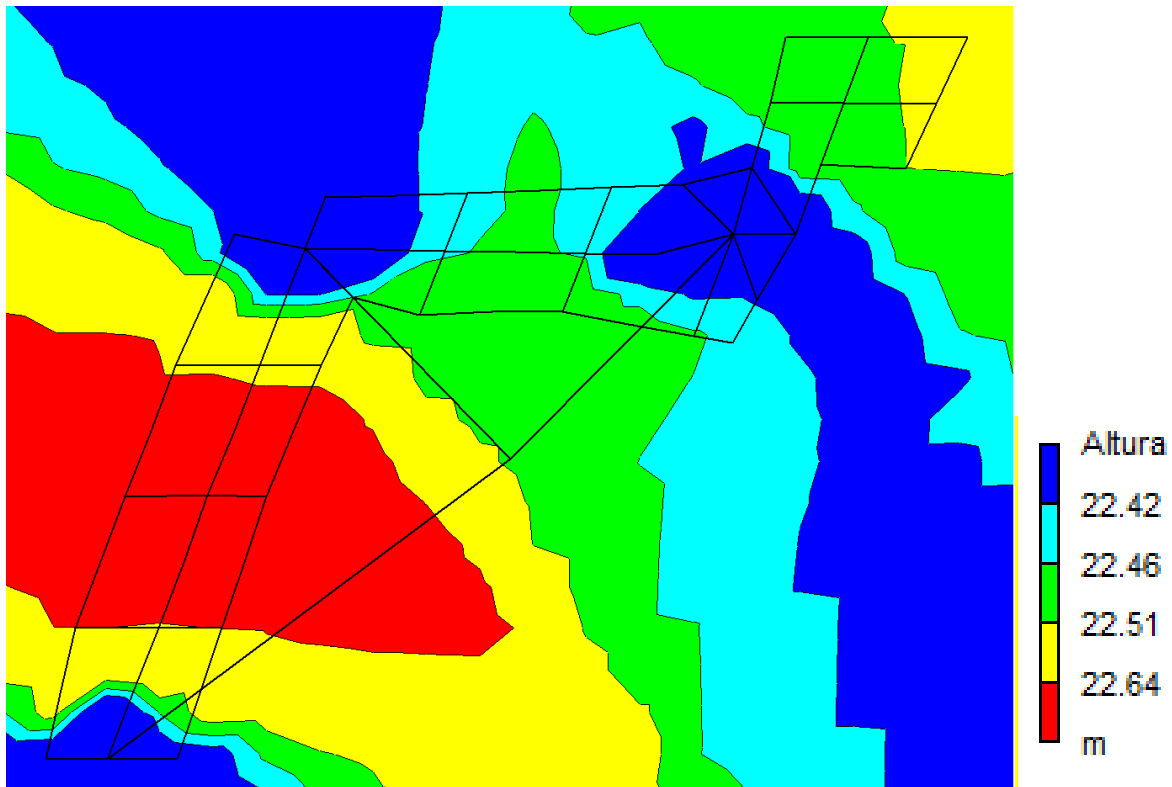


Figura 40: Esquema con curva de presiones en la red, con un caudal de 0.49m³/h. (EPANET 2.0)

En el Anexo 1 se incluyen las figuras correspondientes a los niveles de línea de altura total en los nodos, caudales y velocidades en las ramas, para la situación de mínimo caudal y la situación de máximo caudal considerados para la red. También que se incluyen los resultados para la red modelada con un diámetro de 80 mm, que se puede ver claramente que era demasiado pequeño el diámetro de esa cañería para los caudales que se manejan en este proyecto, por eso se decidió continuar con los diámetros de 110mm, las velocidades en las tuberías principales daban 15m/s en la cercanía de los sopladores, en lo que respecta a las perdidas daban por arriba del 10m/100m de tubería, valor no admisible para este fluido. En los valores que se exponen en la Figura 41 y Figura 42 se puede ver que los parámetros quedan dentro de los límites vigentes.

Para la situación de mínimo caudal de extracción de gas, el caudal que fluye por las tres tuberías principales de conducción al punto de tratamiento se encuentra entre 100 y 140 litros/segundo, en tanto que para la situación de máximo caudal de extracción, los caudales de flujo aumentan hasta niveles entre 180 y 250 litros/segundo. Estos resultados son para las tuberías de 110mm.

Los caudales en las ramas de la red de captación en el interior de la celda comienzan en niveles tan bajos como 0,2 litros/segundo para los nodos más alejado de los puntos de captura hasta valores de alrededor 30 litros/segundo en las ramas más cercanas a los puntos de captura principales, esto para el escenario en el que se considera la menor captura posible de gas. En

tanto que para el escenario en donde se considera la situación de máxima captura, los caudales en la rama de la red alcanzan valores entre 0,6 litros/segundo en las ramas más alejadas, hasta 56 litros/segundo en las ramas más próximas a los puntos de captura.

Las velocidades de flujo mínimas obtenidas se encuentran entre 0,01 litros/segundo en las ramas alejadas del punto de captura a 0,8 litros/segundo en las ramas próximas, mientras que para la situación de máximo caudal, las velocidades registradas se encuentran entre 0,01 litros/segundo a 1,6 litros/segundo. En todos los casos las velocidades se encuentran por debajo del límite máximo recomendado de 12 m/s (USACE 2013)

Respecto de la altura total, la diferencia de altura entre los puntos alejados y el punto de captura de gas cambian entre 0,4 metros equivalentes de columna de agua para la situación de bajos caudales a 1,5 metros equivalentes de columna de agua para la situación de máximos caudales.

En términos de funcionamiento de la red, los caudales máximos en las ramas cambian aproximadamente un 30%, en tanto que las velocidades sufren cambios de aproximadamente el 35% y las diferencias de altura entre los puntos alejados y los de captación tienen cambios del orden del 50%.

En todos los casos, se verifica el funcionamiento hidráulico de la red para las situaciones modeladas.

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

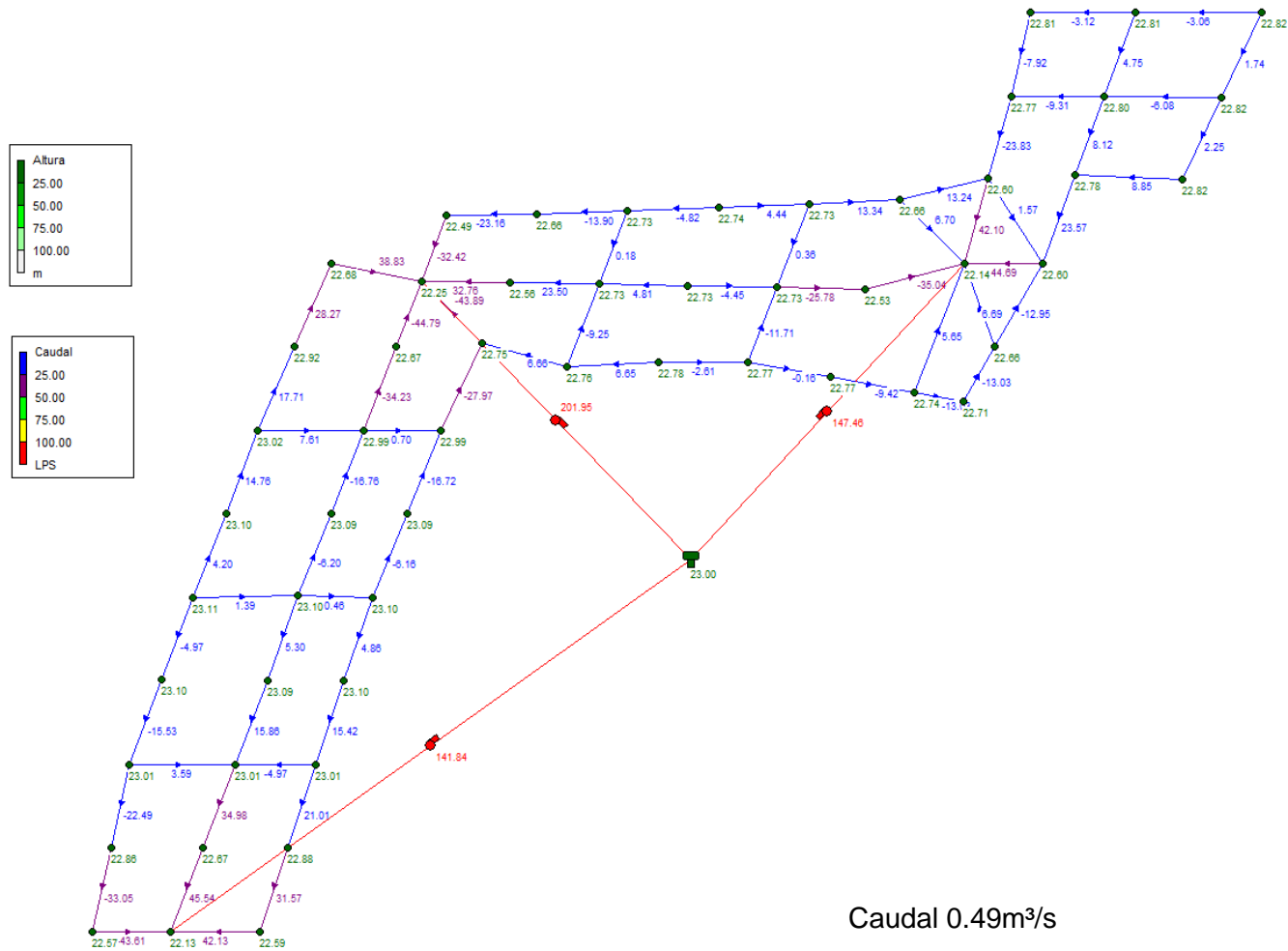


Figura 41: Resultados de altura total en nodos en metros de columna de agua equivalentes y caudales en cada rama de la red de captación de gases para la situación de caudal promedio

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

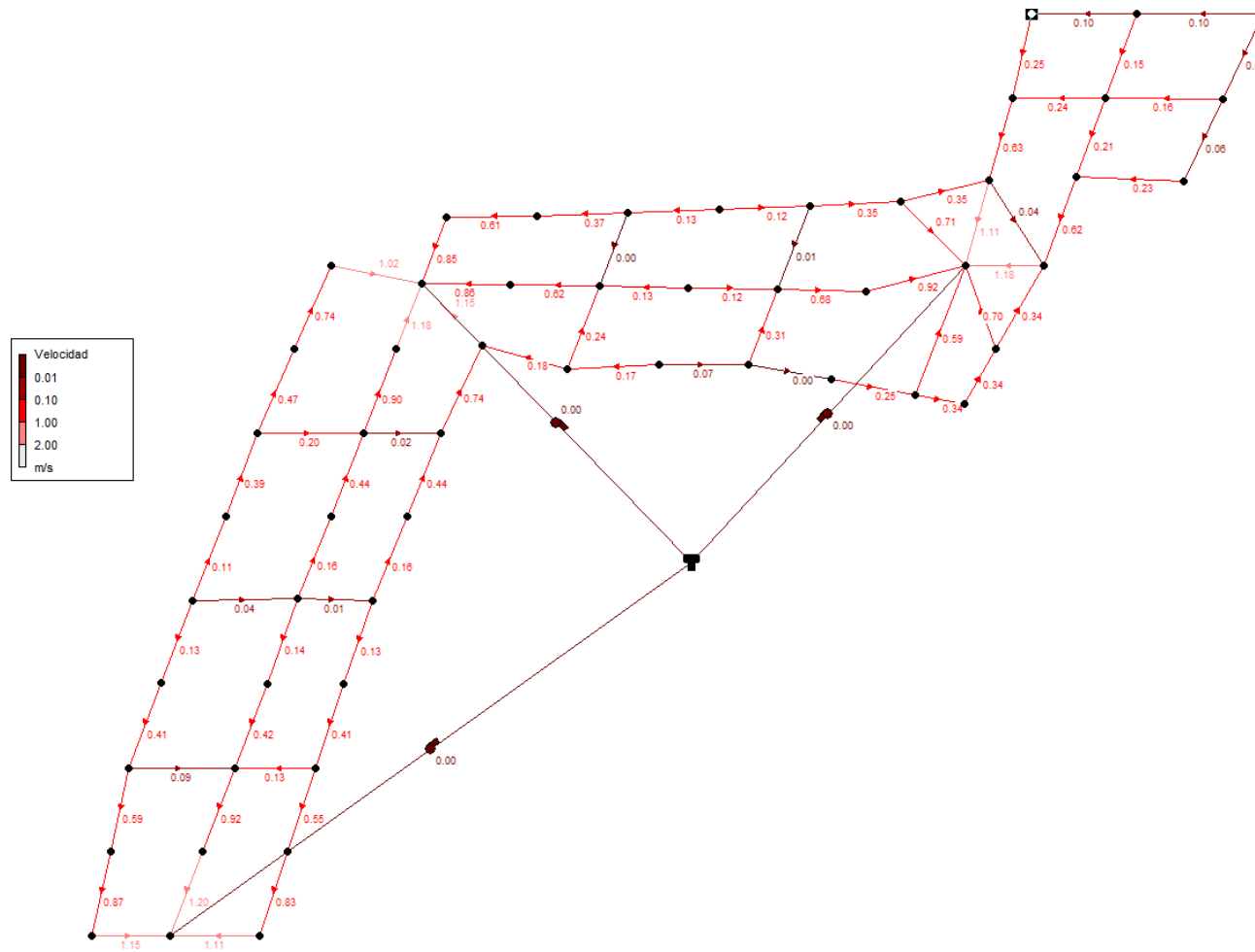


Figura 42Figura 41: Resultados de velocidad de flujo en las distintas ramas de la red de captación de gases

5.9:SÍNTESIS

En este capítulo se llevan a cabo todos los cálculos necesarios para que la red de captura funcione eficientemente. Se puede enumerar los siguientes aspectos de importancia:

- El caudal del gas varía dependiendo la humedad y la temperatura del vertedero entre 0.43 m³/h a 0.69 m³/h y el líquido condensado generado por día será entre 1000 y 1700 litros.
- Se plantearon 3 alternativas para la captación, quedando definida la alternativa con configuración matricial. Cuenta con 54 pozos de extracción vertical, cubren el 66% del área del vertedero, y 3 cañerías de colección horizontal.
- Para llevar el gas desde el vertedero hasta la planta de tratamiento, se necesitan 3 sopladores con un caudal de 820m³/h.
- La red modelada con caños de 110m de diámetro resulta eficiente para los caudales de gas del vertedero.

CAPITULO 6: ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO.

6.1:INTRODUCCIÓN.

En este Capítulo, se presentará el planteo de las alternativas de tratamiento que se propusieron para el biogás. Se realizará un análisis económico de la alternativa planteada, para ello se realizó un cómputo de materiales y un presupuesto simplificado, con estos datos se confeccionó el flujo de fondos del proyecto y se determinaron indicadores financieros del proyecto.

Finalmente se incluyen recomendaciones para el monitoreo del sistema de captación y tratamiento de gases y mantenimiento del mismo.

6.2:ALTERNATIVA CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

En la Figura 43 se muestra el esquema de la alternativa de tratamiento de gases con recuperación de energía planteada para el predio de Piedras Blancas.

En cada uno de las tres cañerías principales que conducen el gas desde la celda de enterramiento al punto de tratamiento se propone la instalación de un tanque enterrado para colección del condensado que se genera en esta cañería. Luego de este tanque se plantea la incorporación de un condensador de acero inoxidable con capacidad de 60 litros cada uno y sistema de vaciado automático para la extracción de la humedad remanente en los gases.

Luego de los condensadores se disponen los sopladores Luego del emplazamiento de los sopladores se concentra el flujo en un único conducto. En este conducto se dispone un filtro para remover el H₂S. Se considera la instalación de un filtro de limpieza biológica con capacidad de tratamiento entre 10 y 5000 m³/h y eficiencia de remoción del 98%.

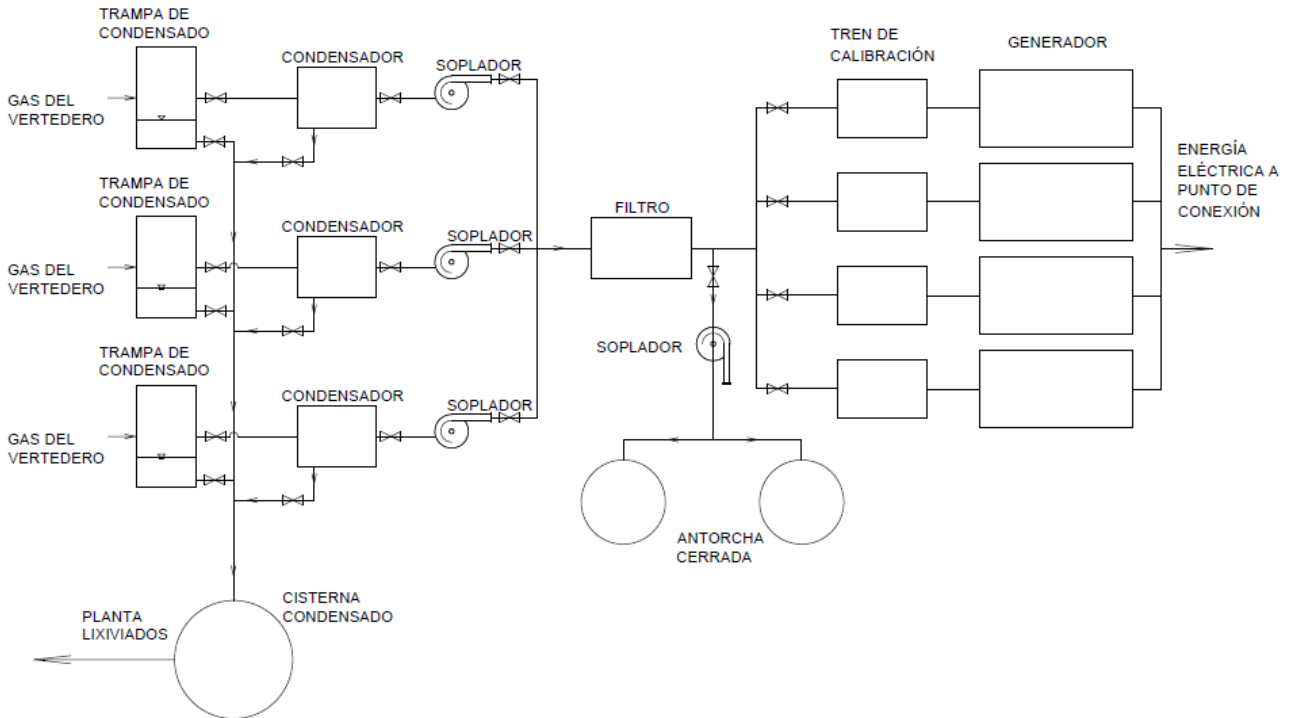


Figura 43: Alternativa de tratamiento de gases con recuperación de energía.

Luego del filtro se plantea una derivación, en un sentido se conduce el gas a los generadores y en el otro hacia las antorchas. Para el caudal de diseño de aproximadamente 2000 m³/h, corresponde disponer de 4 generadores de 850 KWhr. de potencia cada uno. Los manuales técnicos indican que este tipo de generadores consume aproximadamente 0,48 m³/hr por cada kWhr generado. De manera previa al generador se debe disponer del tren de calibración de cada uno de los generadores. De acuerdo a la información provista por los fabricantes, la vida útil de estos generadores es de 15 años.

Para prever alguna eventualidad, entre el filtro y los generadores, se prevé una derivación para conducir el gas directamente a dos antorchas cerradas para quema de excedente de gases que pueda haber, o bien para una eventual salida de funcionamiento de hasta dos generadores de manera simultánea. Se considera la disposición de una antorcha con capacidad de quema entre 550 y 850 m³/hr. De manera adicional se coloca un soplador en la derivación para garantizar el flujo de gas.

6.3:ALTERNATIVA SIN RECUPERACIÓN DE ENERGÍA.

En la Figura 44 se muestra el esquema del sistema de tratamiento de gases sin recuperación de energía en el sitio de Piedras Blancas.

El sistema de pretratamiento es similar al sistema propuesto con recuperación de energía, con la diferencia que en este caso, luego del filtro se emplazan cuatro antorchas de combustión con capacidad de quema entre 550 – 850 m³/hr con presión de funcionamiento entre 10 y 100 mbar con control de presión, sistema de encendido con piloto construidas en acero inoxidable.

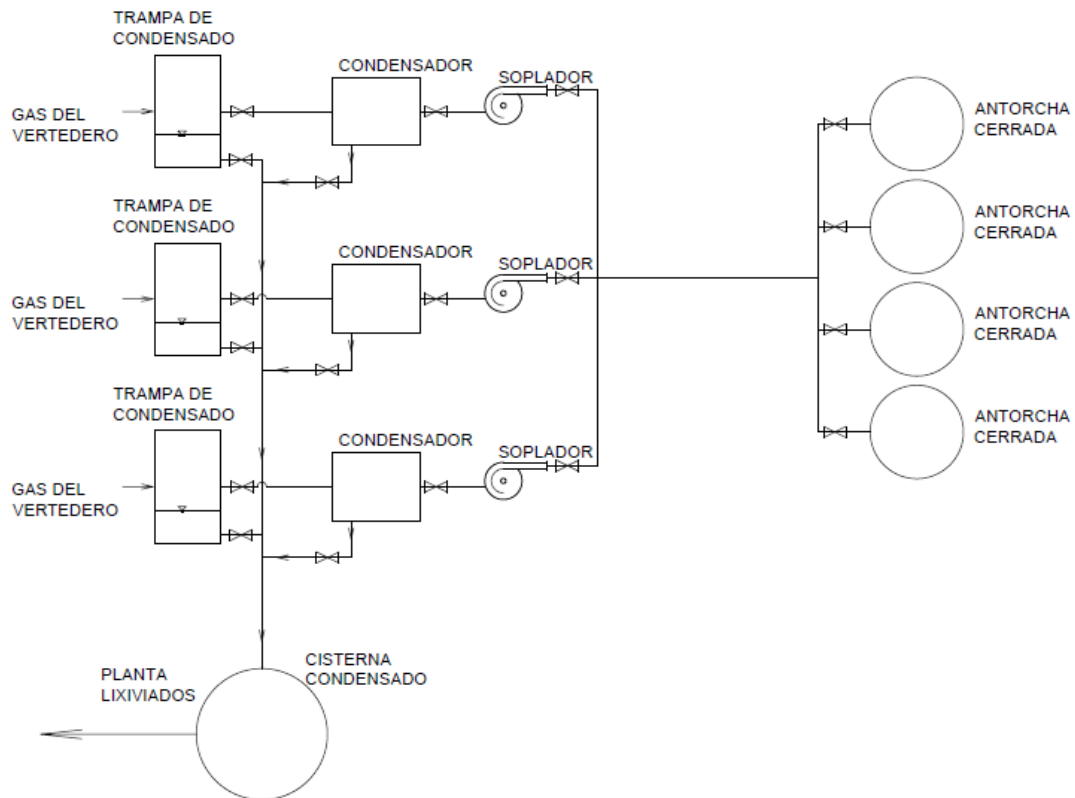


Figura 44: Alternativa de tratamiento de gases sin recuperación de energía.

En la Tabla 6 se indican las principales características técnicas de los elementos de tratamiento necesarios para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 6: Características técnicas de los equipos necesarios para el tratamiento de gases

°	Cantidades		Características Técnicas
	Quema con recupero de energía	Quema	
Condensador	3	3	Diámetro: 30 cm. Altura: 73 cm. Capacidad: 60 litros Material: Acero inoxidable
Sopladores	4	3	Tipo Side Channel Capacidad: 820 m ³ /hr Material: Aluminio
Filtro	1	1	Caudal de funcionamiento: 10 – 5000 m ³ /hr. Concentración de H ₂ S de entrada: hasta 20 000 ppm (2% en volumen). Eficiencia > 98% Presión de trabajo 120 Mbar.
Antorcha	2	4	Caudal: 550 – 850 m ³ /hr Presión de funcionamiento: 10 – 100 mbar. Control de presión Sistema de encendido piloto Diámetro: 20 cm. Altura: 7 m Válvula de accionamiento manual Válvula de accionamiento mecánico. Cuadro de control PLC Llama controlada con sensor UV
Tren de calibración	4	0	Válvula de cierre Filtro de biogás Sensor de presiones mínimas Manómetro Válvula de control para bajas presiones Soplador para compensar presiones Sensor de presiones máximas Control de presión máxima. Válvula antiexplosión.
Generadores	4	0	Potencia: 875 kWhr. Frecuencia: 50 Hz. Tensión nominal: 400 _V Factor de potencia; 0.8 cosφ Presión de entrada de gas: 1 – 5.5 kPa Consumo: 0.428 m ³ /kWhr.

6.4: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS.

A continuación se mencionaran las ventajas que trae aparejado este tipo de tratamientos en un relleno sanitario

- Disminuye la contaminación del aire y se comienza a cumplir con los criterios de regulación de emisiones atmosféricas a nivel mundial.
- Se reduce la migración de compuestos contaminantes hacia las zonas adyacentes.
- Previene el daño a la estabilidad de los taludes de cobertura del relleno.
- Se controla los posibles olores.
- Previene la disminución de vegetación de la zona.
- Se empieza a dar el ejemplo a la sociedad sobre la importancia de cuidar el medioambiente, así mejorando la imagen social sobre los rellenos sanitarios que tan negativa es hoy en día.
- Demostrar a vecinos de futuros predios como estos, a través de la nueva imagen social que se van a tratar apropiadamente y los niveles de contaminantes son permitidos.
- Mejorar la imagen política de quien tome la decisión de realizar este tipo de proyecto.

Además de estos puntos enunciados se marca la diferencia entre las alternativas, ya que en ambas el gas generado dentro del relleno sanitario se quema, pero en la alternativa de generación se está utilizando el calor generado en esa quema para generar energía eléctrica.

Entre las desventajas que se le puede encontrar a este tipo de tratamientos que son pocos y de menor importancia, es el acceso a las nuevas tecnologías, que casi no se encuentran en el país y son tecnologías desconocidas y poco probadas. Además la mayoría de los insumos son importados, conociendo la situación del país actual, se puede ver esto como un problema, no solo por las trabas que hay en todo tipo de importaciones, sino también por los altos costos que tienen al ser precios en monedas extranjeras.

6.5: MONITOREO

El monitoreo del funcionamiento del sistema de colección y tratamiento de gases durante la operación del mismo, la determinación de la composición de los gases extraídos y el control de la calidad de aire en el sitio son tareas fundamentales para garantizar la seguridad y éxito del proyecto.

La cantidad de metano presente en el biogás capturado, la composición del biogás y el caudal del mismo es muy importante para la operación del sistema de tratamiento. Por ejemplo el contenido

de oxígeno presente en la composición del gas puede determinar que el nivel de vacío es elevado, por lo que se debe monitorear para ajustar el caudal del soplador y evitar disminución en el poder calorífico del gas. La medición del caudal de gas capturado es necesaria para optimizar la calibración de los equipos de tratamiento y lograr el máximo rendimiento de los mismos.

Las recomendaciones planteadas en este apartado contemplan los parámetros mínimos a determinar, pudiendo ampliarse la búsqueda de una mayor cantidad de constituyentes en función de la generación de gases o la utilización de los mismos.

En relación a los niveles de metano se propone el monitoreo dentro de las estructuras cerradas y edificios en el predio, en los límites del predio y en los pozos de monitoreo específicos fuera de la celda de enterramiento. Estos controles deberán tener una frecuencia al menos trimestral. El nivel máximo de metano permitido en estructuras y edificaciones es de 1.25% en tanto que en los pozos de monitoreo y en el límite de la propiedad con vecinos la concentración de metano no debe superar el 5% en volumen (USACE 2013). En relación al H₂S, se recomienda un monitoreo al menos semestral, el cual deberá intensificarse en caso de la percepción organoléptica del olor característico a “huevos podridos” de este compuesto.

El número y ubicación de los pozos de monitoreo de gas periféricos a la celda depende de las condiciones geológicas de la heterogeneidad del subsuelo, de la presencia de vías de flujo de vapor preferenciales y de las condiciones de la celda. Los mismos deben ser diseñados y emplazados de modo de poder tener un registro y control de todo el enterramiento. La separación típica entre estos tipos de pozos en áreas homogéneas se encuentra entre 30 y 150 metros (USACE 2013). En el anexo 2, en el plano N°2 se muestra la ubicación propuesta para los pozos de monitoreo periféricos a la celda de enterramiento con sus coordenadas. Para el caso particular de “Piedras Blancas” se consideró la distribución de los mismos respetando la geometría del sitio. A efectos de considerar un control más riguroso, se disponen más pozos de monitoreo en los lados de la celda de enterramiento que colindan con terrenos vecinos, en tanto que en los lados internos al predio la cantidad de pozos de monitoreos previstos es menor. La separaciones entre pozos previstas se encuentran entre 200 metros y 300 metros.

Los pozos de monitoreo periféricos a la celda estarán compuestos de una perforación en el terreno natural, por fuera de la barrera impermeable de la celda. La perforación tendrá un diámetro de al menos 15 centímetros. En el centro de la perforación se dispondrá un tubo de PVC o PEAD de 63 milímetros de diámetro. El espacio entre las paredes de la perforación y el tubo serán rellenados con material granular compuesto por una mezcla de grava y arena. La longitud de las perforaciones será de 18 metros, a efectos de poder monitorear la migración de gases en toda la profundidad de la celda.

El tubo de PVC o PEAD se rematará con una tapa la cual deberá quedar a un nivel de 15 centímetros por debajo del nivel del terreno. La cabeza de los tubos estará alojada en una cámara de protección de hormigón u otro material equivalente de 30 centímetros de lado y 30 centímetros de profundidad. Esta cámara debe finalizar con una tapa a nivel de terreno para poder acceder al muestreo.

Por debajo del nivel de fondo de la cámara se dispondrá de un tapón impermeable para limitar el ingreso de aire del ambiente al tubo. Este tapón se materializará con una mezcla de suelo – cemento – bentonita. La longitud del tapón no deberá ser inferior a los 30 centímetros. Entre el tapón y el material de filtro se dispondrá de una capa de transición materializada con arena fina de espesor no menor a 15 centímetros.

El tubo de PVC o PEAD deberá estar ranurado por debajo del nivel de la capa de arena fina. En la Figura 45 se muestra un detalle del pozo de monitoreo de gases. El nivel máximo de metano permitido en estos pozos es del 5% en volumen (USACE 2013).

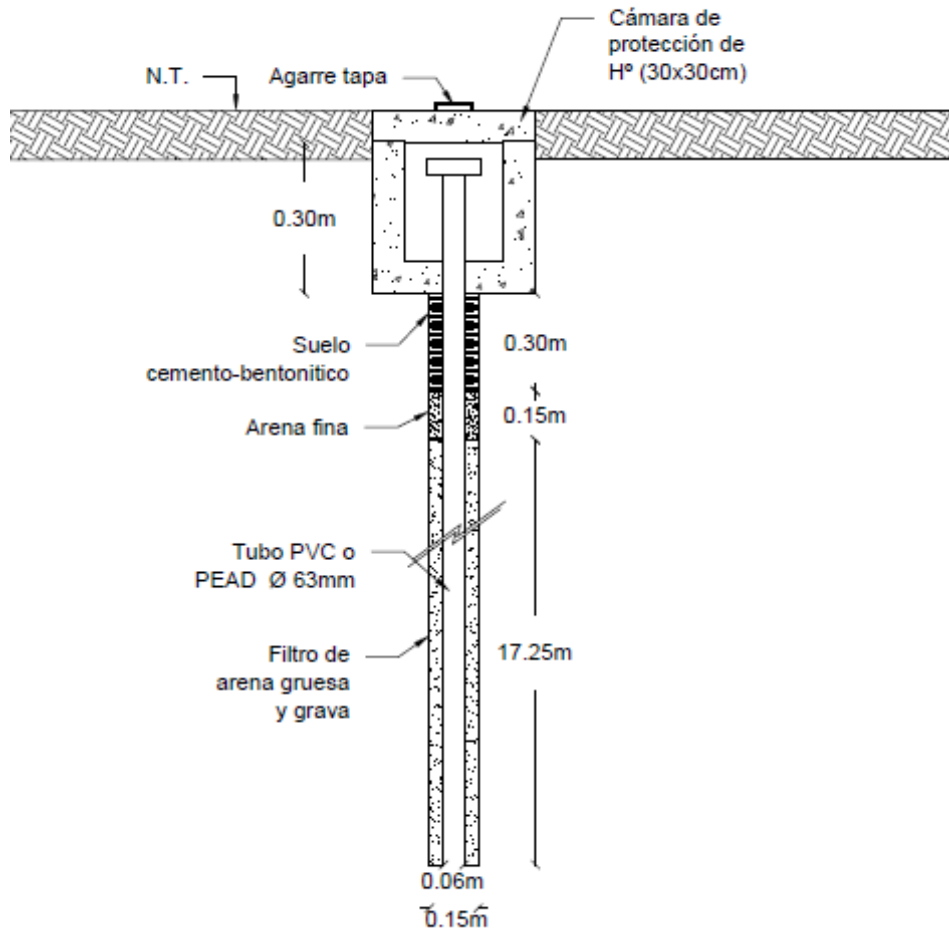


Figura 45: Detalle pozo de monitoreo de gases.

Respecto del monitoreo de la composición del gas producido en las celdas de enterramiento, se seleccionaron 10 pozos de extracción de gases en la superficie de la celda, los cuales deben ser monitoreados al menos una vez cada tres meses.

En cada monitoreo se debe determinar la composición del gas, particularmente el contenido de metano, dióxido de carbono, oxígeno, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, H₂S. En los pozos de extracción el contenido de oxígeno debe ser inferior al 2.5 % y el de nitrógeno inferior al 15%.

Adicionalmente, se indica un monitoreo al menos trimestral de CH₄/CO₂/O₂ en los ductos de extracción para asegurar un correcto funcionamiento del sistema de extracción e incineración de los compuestos volátiles.

En las tuberías de ingreso a las antorchas y generadores se debe monitorear el caudal de gas que ingresa y la presión de ingreso, se debe controlar que los valores de estos parámetros se encuentren dentro de los rangos recomendados por los fabricantes de las unidades.

En la salida de las antorchas y chimeneas de los generadores se debe monitorear la calidad de la corriente gaseosa. El monitoreo debe ser con una frecuencia mensual, se recomienda adoptar como límites de referencia lo recomendado por el TA-Luft (2002) de Alemania, ya nombrados en el capítulo 4 y que se transcriben en la Tabla 7.

Tabla 7: Valores de referencias de los parámetros a monitorear en las corrientes gaseosas luego de la quema del biogás.

Parámetro	Límites de la Directiva Técnica para la Reducción de la Contaminación del Aire - TA Luft (mg/Nm ³ , gas seco a 3% O ₂ [promedio de 24 h])
CO	80 (TA-Luft 2002)
NOx	200 (TA-Luft 2002)
SO ₂	35 (TA-Luft 2002)
C(org)	10 (TA-Luft 1996)
H ₂ S	5 (TA-Luft 1986)

Se debe prestar especial atención a los NMOCs, se recomienda que se analice este parámetro con una frecuencia al menos semestral, tanto en los ductos de extracción, en la superficie de las fosas de residuos y en la chimenea del sistema de tratamiento térmico. En caso que la concentración observada en los ductos de extracción no se vea reducida en un 98% en la chimenea del sistema de tratamiento térmico, o que en este último la tasa de emisión de NMOCs sea mayor a 150 Mg/año, deberán realizarse las modificaciones necesarias al tratamiento para lograr estos valores.

De acuerdo a lo que se estableció informe técnico "Cierre, Clausura y Post-Clausura del enterramiento Sanitario Provisorio "Piedras Blancas" se recomienda un muestreo general a nivel superficial de los HAP listados en la Tabla 8, siguiendo la metodología propuesta por la USEPA, con una frecuencia al menos anual. Esta frecuencia podrá incrementarse en caso que se observen concentraciones elevadas de alguno de los parámetros indicados, con el objetivo de la optimización del sistema de captación y tratamiento de los gases generados en el relleno sanitario.

Tabla 8: Contaminantes de Potencial Preocupación usualmente encontrados en Gases de Rellenos Sanitarios.

1,1,1-Tricloroetano	Cloroformo
1,1,2,2- Tetracloroetano	Clorometano
1,1-Dicloroetano	Diclorobenceno
1,1-Dicloroetano	Diclorometano
1,2-Dicloroetano	Hexano
1,2-Dicloropropano	Sulfuro de hidrógeno
Acetona	Metiletilcetona
Acrilonitrilo	Metil isobutil cetona
Benceno	Metil mercaptanos
Bromodiclorometano	Tetracloroetileno
Disulfuro de carbono	Tolueno
Tetracloruro de carbono	Tricloroetileno
Clorobenceno	Cloruro de vinilo
Cloroetano	Xilenos
Clorofluorocarbonos	

6.6:MANTENIMIENTO

Respecto del mantenimiento del sistema, ésta es una operación muy importante para garantizar el correcto funcionamiento del mismo. Se deberá efectuar una inspección rutinaria y cuidadosa del sistema de colección de gases y proporcionar el mantenimiento adecuado.

Las operaciones de inspección deben considerar los siguientes aspectos:

- Inspección visual de la ocurrencia de asentamientos diferenciales y/o colapsos puntuales en la cobertura de las celdas que permitan inferir algún tipo de compromiso en los conductos de transporte del gas.
- Inspección visual y medición del nivel de lixiviados en los pozos de extracción de gases con frecuencia mensual.
- Inspección y prueba de válvulas con frecuencia mensual.
- Revisión de las conexiones con frecuencia mensual.
- Revisión del estado de las cámaras de inspección.
- Inspección de nivel y funcionamiento de los tanques de colección de líquidos condensados con frecuencia semanal.

- Inspección de los elementos del sistema de tratamiento de acuerdo a las recomendaciones particulares de los proveedores de los equipos.

6.7: CÓMPUTO MÉTRICO

Se realizó un cómputo métrico simplificado de las instalaciones requeridas para las dos alternativas de tratamiento propuestas para el gas del enterramiento. En la Tabla 9 se muestra el cómputo métrico para la alternativa de tratamiento con recuperación de energía en tanto que en la Tabla 10 se muestra el cómputo métrico para la alternativa de tratamiento sin recuperación de energía.

Los cálculos fueron realizados de manera simplificada de acuerdo a los planos de red de captura de gases y manuales de requerimientos técnicos de los proveedores de los equipos para el tratamiento de gases, como se aclaró al principio del capítulo.

Tabla 9: Cómputo métrico de alternativa de tratamiento con recuperación de energía

Rubro Nº	Item Nº	Designación	Unidad de Medida	Cantidad
1		Pozos de extracción de gas		
	1.1	Excavación en residuo diámetro = 20 cm.	metro cúbico	43.5
	1.2	Tubo PVC 110 ranurado	metro lineal	1390
	1.3	Filtro granular	metro cúbico	29.75
	1.4	Capa arena fina	metro cúbico	0.18
	1.5	Tapón suelo - bentonita	metro cúbico	0.36
	1.6	Válvulas	Ud	28
2		Cámara de inspección		
	2.1	Excavación en residuos	metro cúbico	84.5
	2.2	Sellado suelo - cemento - bentonita	metro cúbico	26.3
	2.3	Hormigón Armado	metro cúbico	32.8
3		Trincheras horizontales		
	3.1	Excavación de trincheras	metro cúbico	3905
	3.2	Cama de arena fina	metro cúbico	466
	3.3	Caño de Pvc	metro lineal	5785
4		Pozos de monitoreo		
	4.1	Excavación en suelo diámetro = 15 cm.	metro cúbico	2.23
	4.2	Tubo PVC 63 mm ranurado	metro lineal	126
	4.3	Filtro granular	metro cúbico	1.5
	4.4	Capa arena fina	metro cúbico	0.12
	4.5	Tapón suelo - bentonita	metro cúbico	0.24
5		Cámara de Colección de condensados		
	5.1	Excavación	metro cúbico	5
	5.2	Tanque PVC prefabricado	ud	3
6		Condensadores	ud	3
7		Sopladores	ud	5
8		Filtro H ₂ S	ud	1
9		Tren de Calibración	ud	4
10		Generadores	ud	4

11		Antorcha	ud	2
12		Nave alojamiento equipos	Ud	1

Tabla 10: Cómputo métrico de la alternativa sin recuperación de energía.

Rubro N°	Item N°	Designación	Unidad de Medida	Cantidad
1		Pozos de extracción de gas		
	1.1	Excavación en residuo diámetro = 20 cm.	metro cúbico	43.5
	1.2	Tubo PVC 110 ranurado	metro lineal	1390
	1.3	Filtro granular	metro cúbico	29.75
	1.4	Capa arena fina	metro cúbico	0.18
	1.5	Tapón suelo - bentonita	metro cúbico	0.36
	1.6	Válvulas	Ud	28
2		Cámara de inspección		
	2.1	Excavación en residuos	metro cúbico	84.5
	2.2	Sellado suelo - cemento - bentonita	metro cúbico	26.3
	2.3	Hormigón Armado	metro cúbico	32.8
3		Trincheras horizontales		
	3.1	Excavación de trincheras	metro cúbico	3905
	3.2	Cama de arena fina	metro cúbico	466
	3.3	Caño de Pvc	metro lineal	5785
4		Pozos de monitoreo		
	4.1	Excavación en suelo diámetro = 15 cm.	metro cúbico	2.23
	4.2	Tubo PVC 63 mm ranurado	metro lineal	126
	4.3	Filtro granular	metro cúbico	1.5
	4.4	Capa arena fina	metro cúbico	0.12
	4.5	Tapón suelo - bentonita	metro cúbico	0.24
5		Cámara de Colección de condensados		
	5.1	Excavación	metro cúbico	5
	5.2	Tanque PVC prefabricado	ud	3
6		Condensadores	ud	3

7		Sopladores	ud	3
8		Filtro H ₂ S	ud	1
9		Tren de Calibración	ud	0
10		Generadores	ud	0
11		Antorcha	ud	4
12		Plataforma para equipos tratamiento	ud	1

6.8: EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.8.1: Presupuesto de las alternativas de tratamiento de gases.

Para la evaluación económica se recurrió a la confección de un presupuesto simplificado en base al cómputo métrico presentado en la sección 6.7.:

Para la confección del presupuesto y estimación de los costos se realizaron consultas a empresas proveedoras y constructoras locales y a las empresas específicas de provisión de equipos para tratamiento de gases.

Para la ejecución de los pozos de extracción de gases se consultó y pidió presupuestos a empresas locales dedicadas a la construcción de pilotes. De igual forma se consultó a empresas constructoras para la ejecución de las excavaciones de las trincheras para alojar los conductos horizontales.

Los precios de los caños de PVC fueron consultados a una empresa proveedora de materiales geosintéticos y caños para enterramientos sanitarios.

Los costos de mano de obra, y precios de materiales y tareas de rubros específicos asimilables a rubros de construcción tradicional fueron obtenidos de la página web construircordoba.com (31/10/2014).

De los elementos específicos necesarios para el tratamiento de gases sólo se recibieron precios de un proveedor de generadores eléctricos a biogás y de antorchas cerradas de quema de gas. Los precios de los demás elementos fueron estimados con criterios proporcionados por un proveedor del rubro mediante comunicación verbal.

De acuerdo a la información provista por el fabricante y los proveedores el costo de los generadores a biogás de 875 kWhr asciende a 696.604,20 dólares estadounidenses sin IVA. El costo informado para la antorcha cerrada con capacidad de quema entre 550 y 850 m³/hr es de 42.902,50 euros sin IVA.

Para la conversión de los precios se utilizó la cotización oficial de divisas informada por el Banco de la Nación Argentina el día 31 de octubre de 2014. En este caso el costo del dólar es de 8,495 pesos y el costo del euro es de 11,38 pesos.

Realizando el cambio y considerando el IVA el costo de cada generador de 875 kWhr es de pesos 7.160.359,75, el costo de la antorcha cerrada es de pesos 644.135,48.

En la Tabla 11 se muestran los costos estimados para la materialización de la red de captura de gas y tratamiento del mismo con generación de energía eléctrica. El costo total estimado es de pesos 42.080.780,04. Para la estimación de costos de la alternativa de tratamiento con generación de energía eléctrica no se considera los costos asociados a las instalaciones requeridas para conectar los generadores al punto de suministro del sistema interconectado.

Tabla 11: Costos estimados para la construcción de la red de colección de gases y quema de los mismos con generación de energía eléctrica.

Rubro Nº	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Pozos de extracción de gas	metro lineal	1382	1713.44	2367969.61
2	Cámara de inspección	Unidad	10	28808.00	288080.00
3	Trincheras y tubería horizontal	metro lineal	5785	338.80	1959958.00
4	Pozo de monitoreo	metro lineal	126	935.46	117867.70
5	Cámara de colección de condensados	Unidad	3	6324.09	18972.27
6	Condensadores	Unidad	3	32206.77	96620.32
7	Sopladores	Unidad	5	28641.44	143207.19
8	Filtro H ₂ S	Unidad	1	3143640.00	3143640.00
9	Tren de Calibración	Unidad	4	284750.00	1139000.00
10	Generadores	Unidad	4	7160359.74	28641438.97
11	Antorcha	Unidad	2	644135.48	1288270.97
12	Nave para equipos	Unidad	1	2875755.00	2875755.00
	Total				42080780.04

A partir del análisis de los costos de los diferentes rubros surge que el costo más importante es el de los generadores de electricidad. El impacto del costo de todas las instalaciones requeridas respecto del costo de los generadores es de 40 %. El costo estimado de las instalaciones de colección y conducción de gases es de 4.849.467,91. Este costo es independiente del sistema de tratamiento que se utilice.

En la Tabla 12 se muestran los costos estimados para la alternativa de captura de gases y quema de los mismos en antorchas cerradas. De la tabla surge que el costo estimado es de 10.938.928,36. Este monto representa el 26% de la inversión estimada para el sistema con generación de energía.

Tabla 12: Costos estimados para la construcción de la red de colección de gases y quema de los mismos.

Rubro Nº	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Pozos de extracción de gas	metro lineal	1382	1713.44	2367969.61
2	Cámara de inspección	Unidad	10	28808.00	288080.00
3	Trincheras y tubería horizontal	metro lineal	5785	338.80	1959958.00
4	Pozo de monitoreo	metro lineal	126	935.46	117867.70
5	Cámara de colección de condensados	Unidad	3	6324.09	18972.27
6	Condensadores	Unidad	3	32206.77	96620.32
7	Sopladores	Unidad	3	28641.44	85924.32
8	Filtro H ₂ S	Unidad	1	3143640.00	3143640.00
9	Tren de Calibración	Unidad	0	284750.00	0.00
10	Generadores	Unidad	0	7160359.74	0.00
11	Antorcha	Unidad	4	644135.48	2576541.94
12	Nave para equipos	Unidad	1	283354.20	283354.20
	Total				10938928.36

6.9:FLUJO DE CAJA

Para la estimación de los flujos de caja se consideró únicamente la alternativa de quema con generación de energía eléctrica. Para la confección del flujo de caja se consideró la inversión inicial de la construcción de la red de captura de los gases y la instalación de los equipos. Se consideraron los costos de operación de los generadores de acuerdo a las estimaciones realizadas por el fabricante de los equipos. El análisis de costo provisto indica un costo unitario de generación de 0,019 dólares estadounidenses el kWhr. El costo de generación resultante por MWhr es de pesos 161. De acuerdo a la información provista por el fabricante de los generadores se considera una vida útil para los mismos de 15 años, motivo por el cuál se plantea el reemplazo de las cuatro unidades al año 15 del proyecto. El costo considerado es el mismo informado en la actualidad. Se verificó el caudal medio luego de 15 años de antigüedad del enterramiento sanitario y se verificó que para ese horizonte de tiempo se siguen requiriendo cuatro unidades para poder realizar el tratamiento. No se considera valor remanente para los primeros cuatro generadores, sin embargo se aplica el modelo de depreciación lineal para los generadores que se instalan al año 15. Esto permite obtener un valor remanente al final del presente proyecto de pesos 9.547.146,3.

Los únicos ingresos considerados son los que surgen a partir de la posible venta de energía eléctrica al sistema interconectado. Se consultó la página de internet de Cammesa, en la misma se indica que el precio mayorista es de pesos 120 el MWhr. Evidentemente los precios de venta son inferiores al costo operativo de producción sin considerar los costos de la inversión inicial.

Para la actualización de los valores se utilizó una tasa de interés del 12%.

En la Figura 46 se puede observar el flujo de fondo que se realizó, donde el valor presente neto da un valor negativo de pesos 48.560.172,2 ya que los egresos son mayores a los ingresos a lo largo de la vida útil del proyecto, esto se da por lo que recién se mencionó, el precio del MWhr es solo de \$120 y generar la energía tiene un valor mayor, además de la inversión inicial. En la Figura 47 se grafican los ingresos y egresos a lo largo del tiempo, donde se puede ver claramente que los ingresos nunca llegan a cortar la línea de los egresos.

Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba.

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Egresos												
Obra inicial	\$ 36,285,630											
Reemplazo Generadores												
Costo Operación		\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640
Total Egresos	\$ 36,285,630	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640
Ingresos												
Venta Energía		\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200
Valor residual equipos												
Neto	-\$ 36,285,630	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440
Actualizado	-\$ 36,285,630	-\$ 865,571	-\$ 772,832	-\$ 690,028	-\$ 616,097	-\$ 550,086	-\$ 491,148	-\$ 438,525	-\$ 391,541	-\$ 349,590	-\$ 312,134	-\$ 278,691
VAN	-\$ 48,560,172											

2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Egresos													
			\$ 28,641,439										
\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640
\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 32,414,079	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640	\$ 3,772,640
Ingresos													
\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200	\$ 2,803,200
													\$ 9,547,146
-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 29,610,879	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	-\$ 969,440	\$ 8,577,706
-\$ 248,831	-\$ 222,171	-\$ 198,367	-\$ 5,409,797	-\$ 158,137	-\$ 141,193	-\$ 126,066	-\$ 112,559	-\$ 100,499	-\$ 89,731	-\$ 80,117	-\$ 71,533	-\$ 63,869	\$ 504,569

Figura 46: flujo de fondo del proyecto con generación.

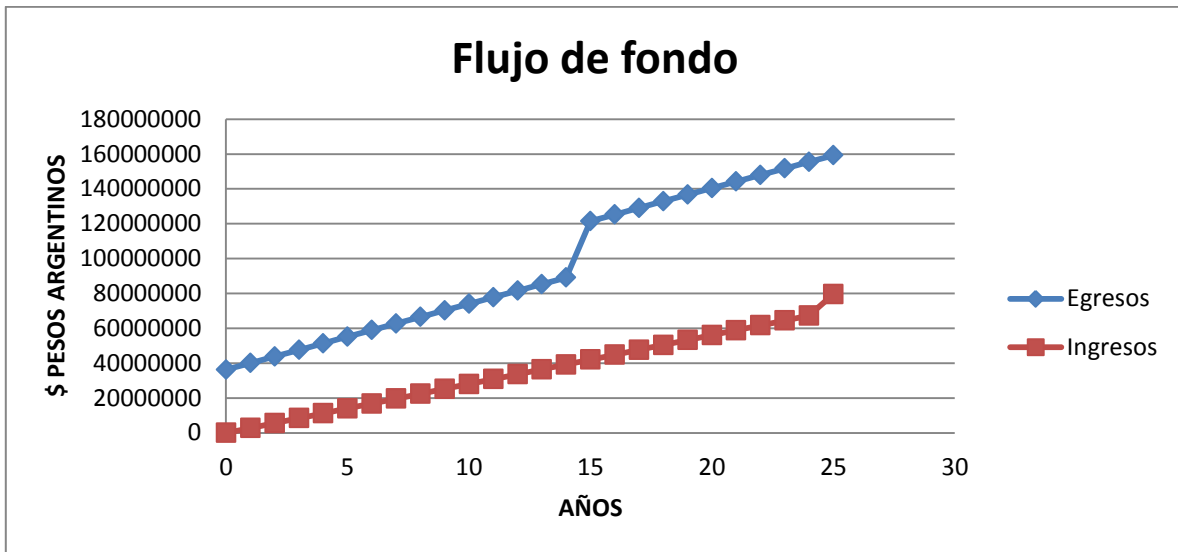


Figura 47: ingresos y egresos a en función del tiempo

Como se pudo ver en las figuras anteriores, el proyecto no es económicamente rentable, la VAN es negativa.

Lo que se plantea a continuación es calcular el valor que deberían pagar el MWhr para que la VAN resulte igual a cero. Este valor se encontró iterando valores hasta llegar a que la VPN se haga cero. El precio del MWhr determinado es de \$385.

Con este precio y además una tasa del 12%, el valor presente neto resulta nulo. Con esto quiere demostrarse, que estos tipos de proyectos sólo pueden encararse si existe seguridad política a través del subsidio en el precio del MWhr.

En la Figura 48 se muestra en cómo quedaría el grafico de ingresos y egresos a lo largo del tiempo, y en los anexos se incluye el flujo de fondo con el valor del Mwhr de \$385.

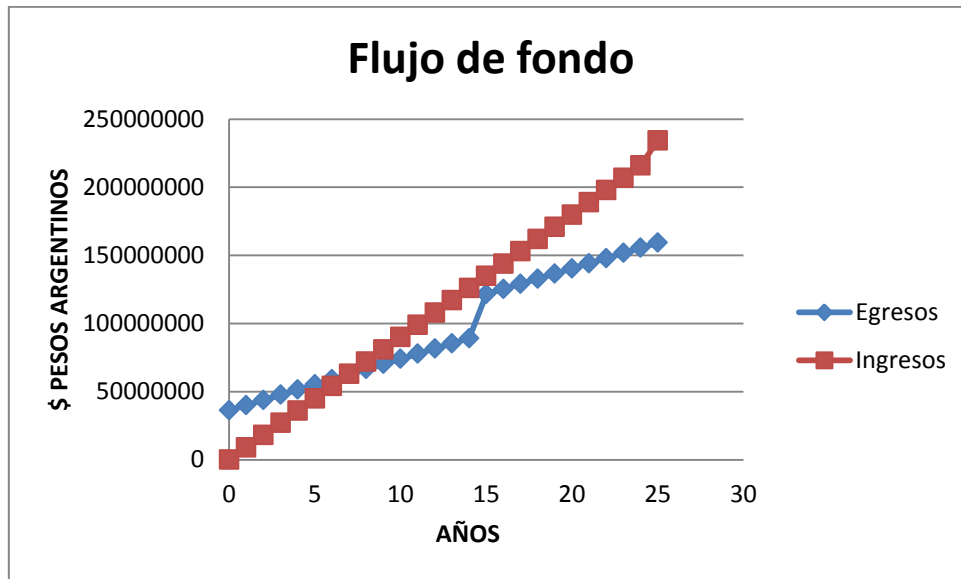


Figura 48: ingresos y egresos con subsidio a lo largo del tiempo.

6.10: SÍNTESIS.

En el Capítulo 6, se tratan las diferentes alternativas para el tratamiento de biogás, se plantea las características de cada una, sus ventajas y desventajas. Además se plantea un cómputo métrico y un análisis económico simplificado de las mismas. Se pueden mencionar las ideas más importantes:

- La alternativa de quema directa, cuenta con 4 antorchas cerradas con un caudal de 550 – 850 m³/h.
- En lo que respecta a la alternativa de tratamiento con recuperación de energía, el sistema de tratamiento, es un sistema más complejo y que cuenta con más elementos dentro de la planta de tratamiento, por ende es un sistema mucho más costoso.
- El sistema propuesto tiene una capacidad de generación de 3.4MW/h.
- Para construir la alternativa de quema directa se debe invertir la suma de pesos 10.938.928.36, en cambio para construir la alternativa con generación de energía se requiere una inversión de pesos 42.080.780,04.
- En el caso que se cuente con un subsidio para la alternativa con generación de energía de \$385 por el MWh producido por la planta, el proyecto sería rentable.

CAPITULO 7:CONCLUSIONES.

En este trabajo lo que se desarrolló principalmente es en el sistema de captación y tratamiento de biogás para el predio de Piedras Blancas, situado a pocos kilómetros de la ciudad de Córdoba, donde se vierten los residuos sólidos urbanos de esta ciudad y de sus alrededores.

Para ello se realizó un análisis de información previa, tanto del predio, es decir su situación desde que se comenzó a utilizar en abril de 2010, hasta la actualidad. Mucha de esta información fue brindada por la Propuesta de factibilidad de Utilización de Predio presentado por Córdoba Recicla Sociedad del Estado (CreSe) a la Municipalidad de la Ciudad de Córdoba, por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba y también por CIQA, centro de investigación y transferencia en ingeniería química.

De manera complementaria, se estudió revisaron las recomendaciones realizadas por organismos internacionales sobre sistemas de captación y tratamiento de biogás.

Las principales conclusiones y recomendaciones a las que se arribaron en este trabajo se pueden resumir de la siguiente forma:

- Las alternativa de cerramiento superior elegida es la planteada en el capítulo 4, como Alternativa 2 (EPA 1998). La misma contiene una eficiencia del 85% a la hora de la captación de gas, esto es porque cuenta con un sistema de geomembrana de 1.4mm de PEAD.
- Se expusieron los resultados de la composición y sus porcentajes de los gases emitidos del predio, estudios que fueron realizados por la UTN-FRC, se puede concluir que el gas emitido del vertedero de Piedras Blancas necesita un tratamiento, ya que excede los límites vigentes.
- Se realizó un análisis de la generación de líquido condensado dentro del vertedero, el mismo resultado variar dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura entre 1000 y 1700 litros por día.
- Los caudales de gas generado en las celdas varían entre 0.43 y 0.69m³/s. Los mismos fueron determinados en una instancia previa a al desarrollo de esta Práctica Supervisada.
- Se plantearon tres configuraciones geométricas diferentes de red de captación de gas de acuerdo a los lineamientos generales recomendados por el USACE (2013). A partir del análisis de las mismas se determinó que la más conveniente es la configuración del tipo matricial. Esta alternativa requiere 54 pozos verticales. Con la disposición de pozos planteada, cubre el 66% de la superficie total del vertedero. El sistema de captación fue

dividido en tres sectores principales y el flujo es forzado con 3 sopladores, con un caudal de extracción de 820m³/h.

- Se realizó un análisis de las alternativas de tratamiento de biogás más comunes disponibles. A partir de este análisis se plantean dos posibilidades de tratamiento para este sitio: quema directa en antorcha cerrada o quema con generación de energía eléctrica.
- La alternativa de quema directa, cuenta con 4 antorchas cerradas con un caudal de 550 – 850 m³/hr que cumple su función en todo momento a lo largo de la vida útil del vertedero, ya que se estima un caudal máximo de 2484m³/h.
- En lo que respecta a la alternativa de tratamiento con recuperación de energía, el sistema de tratamiento, es un sistema más complejo y que cuenta con más elementos dentro de la planta de tratamiento, por ende es un sistema mucho más costoso.
- El sistema propuesto tiene una capacidad de generación de 3.4MW/h.
- Se realizó una evaluación económica simplificada utilizando presupuestos colectados en los meses de septiembre – octubre de 2014. El tipo de cambio considerado es el operante al último día hábil del mes de octubre de 2014. Para construir la alternativa de quema directa se debe invertir la suma de pesos 10.938.928.36, en cambio para construir la alternativa con generación de energía se requiere una inversión de pesos 42.080.780,04.
- El sistema de quema directa parece ser la alternativa más viable desde el punto de vista económico ya que la inversión es un 25% comparada con la alternativa de generación de energía.
- En la evaluación económica no se consideran los costos asociados a los trámites requeridos de declaración, inspección y adecuación de instalaciones ante la autoridad eléctrica correspondiente. En la evaluación económica no se considera los costos en los que se debe incurrir en la instalación de transporte de la energía generada al punto de conexión a la red eléctrica ya que tal proyecto escapa al alcance planteado para el presente informe.
- Se realizó un análisis inverso para determinar el valor del MWhr que el mercado debiera pagar a plantas de generación como éstas para garantizar una rentabilidad del 12%. El valor determinado es de \$ 385 el MWhr.
- La materialización de la alternativa con recuperación de energía permite mostrar una imagen social de compromiso altamente positiva en comparación con la alternativa de sólo quemar el gas.

7.1:RECOMENDACIONES.

En esta sección lo que se va a reflejar es la opinión del autor de este trabajo, el alumno Joaquín Gonzales. Luego de la investigación, y el trabajo desarrollado para encontrar las alternativas que se me adecuaron a la captura y tratamiento del biogás en el sitio de Piedras Blancas, se recomienda:

- Realizar un trabajo prolijo en el vertido de residuos del día a día tratando de llegar a los niveles de densidad adecuados.
- No realizar este tipo de proyectos en carácter “temporal”, si no realizar estos trabajos con una visión a largo plazo y con las consideraciones técnicas que un proyecto de esta magnitud necesita.
- Realizar siempre una evaluación del impacto ambiental, esto es un trabajo importantísimo del cual no podemos prescindir.
- En lo que respecta a la toma de una decisión entre las alternativas planteadas, se recomienda optar por la alternativa de quema directa ya que la inversión inicial es baja con respecto a la otra y el costo de operación es nulo, es un sistema más simple con menor tecnología. La mejora ambiental es igual a la otra alternativa ya que en las 2 se quema el gas y se minimizan sus concentraciones para poder ser venteados al ambiente.

BIBLIOGRAFIA.

Conestoga – Rovers & Associates (2010). “Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines”. British Columbia Ministry of Environment, Canada.

Machado S., Carvalho M., Gourc J., Vilar O. y Nascimento J. (2009). “Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results”. *Waste Management* 29, 153-161.

Ministry of Environment of British Columbia (2009). “Landfill Generation Assesment, Procedure Guidelines”. Provincia de British Columbia, Canada.

Ordenanza No. 9612/97, Municipalidad de Córdoba, B.O. del 28 de febrero de 1997.

Sharma H.D. y Reddy K.R. (2004). “Geoenvironmental Engineering. John Wiley & Sons, New Jersey.

Streeter, V. y Wylie, E. B. (1994). “Mecánica de los Fluidos” Octava Edición. Mc Graw Hill, Madrid.

Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (2002). First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). 252 p.

Spokas K., Bogner J., Chanton J., Morcet M., Aran C., Graff C., Moreau-le-Golvan Y., Bureau N. & Hebe I. (2006). “Methane mass balance at three landfill sites: what is the efficiency of capture by gas collection systems?” *Waste Management*, 26, 516–525.

Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S. (1994). “Gestión Integral de Residuos Sólidos”. McGraw Hill, Madrid, España. Capítulo 11.

USACE (2013). “Landfill gas collection and treatment system”. EM 200-1-22, USACE, Department of Army, Washington DC.

Rossmann L.A. (2002). “Manual de EPANET”.

USEPA (1998). “Estimation of infiltration rate in the vadose zone: compilation of simple mathematical models”. EPA/600/R-97/128a.

USEPA (2005). “Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User’s Guide”.

www.construircordoba.com.ar (visitada el 31/10/2014)

www.bna.com.ar (visitada el 31/10/2014).

Gustavo Blanco y Ariel Pérez, costos relativos de los elementos de tratamiento de gases. Comunicación personal, 5/11/2014.