

MEMORANDO

PARA: **DIEGO FRANCISCO RUBIO GOYES**
Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial

CAMILO ALEXANDER RINCÓN ESCOBAR
Dirección de Control Ambiental

DE: **REINALDO GÉLVEZ GUTIÉRREZ**
Subdirector de Recurso Hídrico y del Suelo

ASUNTO: **MEMORANDOS 2019IE111766 del 22/05/2019 y 2019IE120199 del 31/05/2019.**
Alcance a Concepto técnico 00325 del 29/01/2021 (2021IE17142).
Lineamiento técnicos desgasificación predio Gibraltar.

Cordial Saludo,

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAB ESP mediante los radicados No. 2019ER10484 del 14/05/2019, 2019ER180582 del 09/08/2019 y 2019ER184547 del 13/08/2019 presentó el diagnóstico, selección de medidas de manejo ambiental y diseños detallados de ingeniería para la construcción del Parque Metropolitano PM 10 El Porvenir, a llevarse a cabo en el predio Gibraltar (KR 91 43-20 Sur), documentos elaborados por la firma SIAM S.A.S, enfocados en el cumplimiento de determinantes ambientales comunicadas por medio del oficio 2017EE173838 del 06/09/2017.

La Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo- SRHS de la Secretaría de Ambiente realizó el análisis y evaluación de la información allegada mediante concepto técnico 00325 del 29/01/2021, el cual, fue comunicado a la Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial mediante memorando 2021IE17298 del 29/01/2021, quien a su vez lo comunicó al Instituto Distrital de Recreación y Deporte – IDRD mediante oficio 2021EE20780 del 03/02/2021.

Dentro de la información evaluada se encuentra el aparte de manejo de gases, donde se concluye entre otras que para el año 2024 se proyecta la producción del 100% del biogás dentro del predio y que actualmente dentro Gibraltar se estima una producción de 44m³/hora, siendo 0,7m³/ha-hr. Así mismo, la EAB establece una relación directa del % de LEL con la presencia de Metano y Oxígeno, por tanto al realizar el análisis de las muestras de suelo durante las perforaciones exploratorias se concluye la presencia de bolsas de metano hacia los pozos PM10, PM12 y PM7 ubicados hacia la zona NNW. La EAB manifiesta que para la desgasificación de la zona NW del predio Gibraltar estima la construcción de 57 chimeneas pasivas con un espacio entre las mismas de 50 m, las cuales serán instaladas mediante un programa de monitoreo de metano y COV cuyo registro sea inferior a 1% en COV y 5% en LEL.

Ahora bien, considerando que previo al desarrollo de cualquier tipo de actividad de construcción y/o adecuación del área de interés es indispensable desarrollar la desgasificación en aras de evitar cualquier tipo de afectación, la SRHS ha encontrado necesario realizar un alcance al concepto técnico 00325 del

29/01/2021 específicamente para: establecer la actividad de desgasificación como requisito imprescindible previo a cualquier intervención y determinar los lineamientos mínimos que debe contener el plan de desgasificación que se desarrolle, los cuales fueron formulados considerando la línea base del predio, los estudios técnicos existentes y la propuesta allegada por la EAB.

Por lo anterior, y con el fin de evitar riesgos sobre el medio ambiente, comunidad aledaña y trabajadores, al momento de ejecutarse la etapa de construcción del Parque Metropolitano PM 10 El Porvenir, en el predio Gibraltar (KR 91 43-20 Sur), previo a la ejecución de cualquier actividad constructiva y sin excepción, se deben adelantar los trabajos de desgasificación descritos en el presente documento.

1. LÍNEA BASE DE GASES

Teniendo en cuenta que el área de interés denominada como “Predio Gibraltar”, compuesta por 6 predios identificados con CHIPs AAA0138ZKFZ, AAA0138ZKBS, AAA0138ZKCN, AAA0162DKLW, AAA0173DWCX y AAA0173DWDW se utilizó como botadero de basuras hasta el mes de agosto de 1988, y que de acuerdo con el Informe Producto 1 del contrato “CONSULTORÍA PARA REALIZAR DIAGNÓSTICO, SELECCIÓN DE MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL Y SUS DISEÑOS DETALLADOS DE INGENIERÍA QUE PERMITAN PLANIFICAR LA CONSTRUCCIÓN DEL PARQUE METROPOLITANO PM10 EL PORVENIR (GIBRALTAR)” allegado a ésta Entidad bajo radicado 2019ER104814 del 14/05/2019, dicho botadero se encuentra en la Fase V, es decir la fase de maduración, por lo que la degradación biológica de los residuos putrescibles presentes dentro de la masa se encontraría casi finalizada.

Ahora bien, las condiciones de flujo vertical de gases dentro de la masa se encuentran dominadas por el fenómeno de difusión molecular¹, de acuerdo con al siguiente expresión:

$$N_A = \frac{-D\alpha^{4/3}(C_{A_{atm}} - C_{A_{rell}})}{L}$$

Donde N_A es el flujo másico del compuesto A ($\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$); α porosidad llena de gas; $C_{A_{atm}}$ es la concentración del compuesto A en la superficie en contacto con la atmósfera (g/cm^3); $C_{A_{rell}}$ es la concentración del gas dentro de la masa de relleno (g/cm^3) y L es la distancia promedio que debe recorrer el gas (cm). Tomando 0,2 cm^2/s y asumiendo la porosidad del material de relleno lleno² de biogás, daría el mayor valor posible de flujo másico (Tchobanoglous et al., 1993).

En este punto se hace importante tener en cuenta que la producción de gas considerada por la EAB no se encuentra uniformemente distribuida en el área del terreno como se evidencia en la figura No. 1. De igual

¹ Se asume que el gradiente de presión es muy pequeño para causar movimiento convectivo en esa dirección; sin embargo, si existe en la dirección horizontal.

² Si el material se encuentra completamente saturado, como es el caso por debajo del nivel freático, el movimiento depende de la difusividad del metano en agua ($2 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$); haciendo que el flujo másico a través de este medio sea insignificante.

manera, se debe considerar que la producción de biogás estimada está relegada al área donde se encontraron las mayores concentraciones de metano (~18,6 ha, no en la totalidad de las 66 ha).

El caso más crítico, de acuerdo con los datos presentados (Ver Figura 1) en el documento allegado bajo radicado 2019ER104814 del 14/05/2019, considera una concentración de metano mayor al 20% del LEL en la masa de gas atrapada dentro del relleno. Asumiendo una porosidad promedio de 0,3 y una distancia de recorrido equivalente al espesor de la capa de cobertura del relleno mismo (~3,0 m), se obtiene como resultado un flujo másico máximo posible de $1,81 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ (1,81 g/ha·s; 6,52 kg/ha·hr; 9,78 Nm³/ha·hr). Este valor de flujo es la condición más favorable posible para el movimiento vertical de gas a través de la masa de suelo de cobertura, pues considera que ésta se encuentra completamente seca (toda la porosidad está llena de gas) y no toma en cuenta adsorción u otros aspectos. Este valor de flujo másico es mucho mayor que la producción estimada de biogás calculada por la EAB para el año 2018 (44 m³/hr - Producto 1 allegado bajo radicado 2019ER104814 del 14/05/2019), dado que se debe considerar, en primer lugar, que como ya se indicó, dicha producción de biogás se encuentra relegada al área donde se detectaron las mayores concentraciones de metano (~18,6 ha); se estima que la producción sería del orden de 2,36 Nm³/ha·hr (44 Nm³/hr en 18,6 ha, no en la totalidad de las 66 ha), producción que sería menor que el “flujo másico máximo posible”.

Sin embargo, es claro, que el flujo másico real es mucho menor a la cifra estimada como máximo posible y, al mismo tiempo, que la producción de gas considerada no se encuentra uniformemente distribuida en el área del terreno como se presenta por la EAB en el documento “Producto 1” allegado mediante radicado 2019ER104814 del 14/05/2019 (Ver Figura 1)

Se debe tener en cuenta entonces que el material de cobertura debe tener un contenido de humedad, el cual es variable, (dependiendo de si es época de lluvias o sequía); esta humedad ocupa parte de la porosidad (sin saturar el suelo) que puede estar entre el 10 y 20% del volumen del suelo. En estas condiciones, el valor de la porosidad (α) libre (que permite el flujo de gas) pasa de 0,3 a 0,10³. Recalculando el valor del flujo másico en estas condiciones, se obtiene un resultado de 2,24 Nm³/ha·hr; valor menor que el de producción, lo que es consistente con la presencia de biogás dentro de la masa de relleno, pues en este caso, se estaría produciendo más del que puede salir y, por ende, se acumula.

La producción residual (0,12 Nm³/ha·hr), equivalente a 52,4 Nm³/día en el área donde se encontraron las mayores concentraciones de metano (~18,6 ha), de no ser evacuada se moverá de forma lateral, de manera convectiva, al generarse un gradiente de presión entre la zona donde se genera el gas y las zonas donde la actividad biológica terminó o se encuentra en fase terminal. Este exceso puede ser evacuado de la masa de relleno a través de un sistema de desfogue pasivo (chimeneas), uniformemente distribuido en el área de interés, de manera que provean una vía de evacuación aprovechando la condición de movimiento lateral. Para los cálculos de caudal de evacuación se debe utilizar la ley de Darcy, considerando un gradiente de presión lineal desarrollado en el área de influencia de cada chimenea y asumiendo una presión máxima en el punto más lejano de 0,1 atm (~1 m columna de agua).

De acuerdo con la información suministrada, el estrato más permeable muestra una conductividad hidráulica de 0,147 m/d (PM2 - 2019ER104814 del 14/05/2019). Se puede estimar la permeabilidad de ese estrato con

respecto al biogás, multiplicando el valor de la permeabilidad hidráulica por la relación de las viscosidades de los dos fluidos (6 *Gas Transport in Soil*, 1983). Teniendo en cuenta que la viscosidad del biogás que se estaría generando dentro del relleno (debido a los residuos de degradación lenta) es cercana a $1,69 \times 10^{-5}$ Pa·s⁴ y la del agua es de $1,0 \times 10^{-3}$ Pa·s, se tiene una relación de 59,17; que al aplicarse, la permeabilidad del gas dentro de esta capa se estima cercana a los 8,7 m/d ($8,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$).

Lo anterior es congruente con los estudios realizados y allegados por la EAB respecto a la acumulación de gas y la elección de la alternativa de desgasificar mediante la construcción de chimeneas pasivas con el fin de minimizar los riesgos ambientales y para la salud humana.

2. DISTRIBUCIÓN DE CHIMENEAS DE DESFOGUE

Para la construcción de la propuesta allegada por la EAB, dicha Entidad tuvo en cuenta las mediciones realizadas en los 12 pozos de monitoreo de lixiviados y agua subterránea al interior del área de interés, específicamente para los parámetros de %LEL (Límite inferior de explosividad, Metano), CO (Monóxido de Carbono) y H₂S (Sulfuro de hidrógeno), arrojando los siguientes resultados para %LEL:

Tabla 1. Resultados de medición de LEL

PM1	0%	PM2	9% (a 3m)	PM3	0%
PM4	2% (a 6,5m)	PM5	0%	PM6	0%
PM7	>20% (>1 m)	PM8	20% (>7m)	PM9	20% (>6m)
PM10	20% (>0,5m)	PM11	20% (>0,5m)	PM12	20% (>2m)

Fuente: Radicado No 2019ER104814 del 14/05/2019

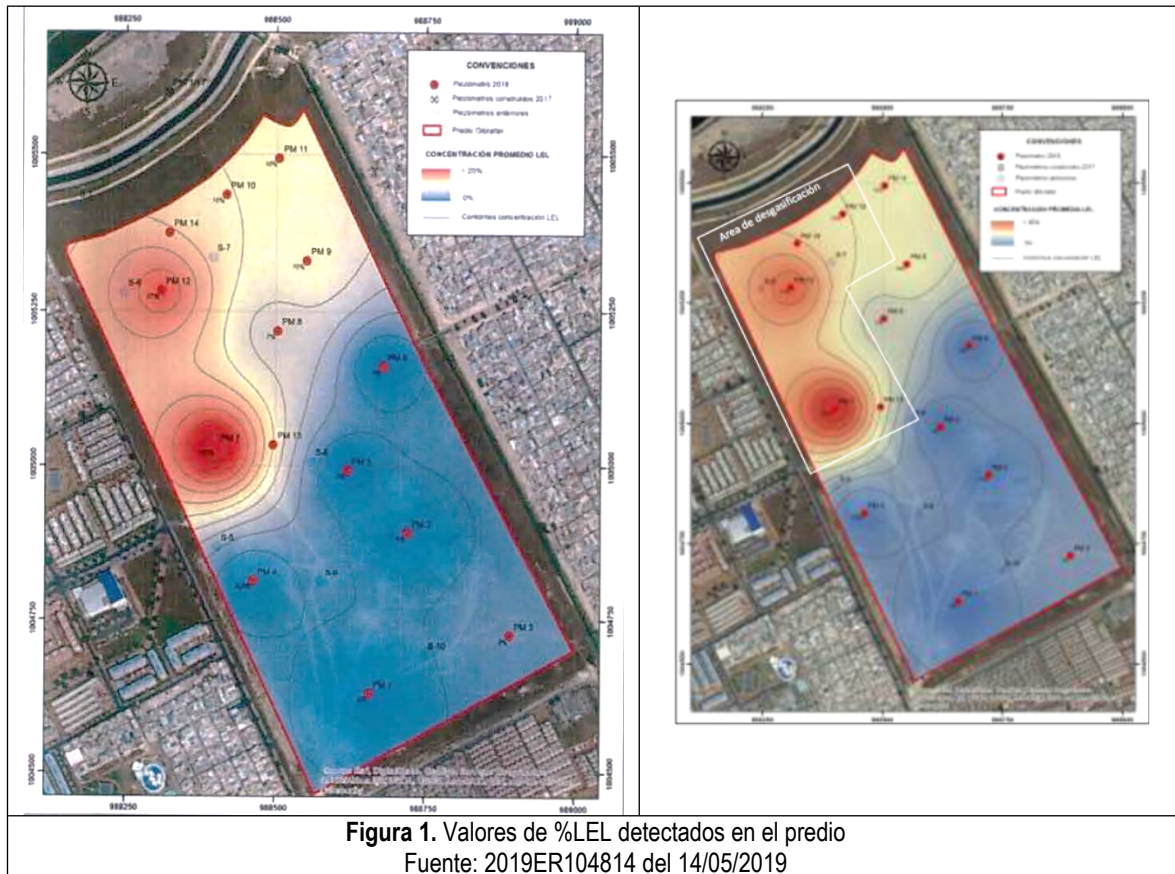
De acuerdo con la distribución espacial de los pozos de monitoreo y los resultados de las mediciones se determinó que la producción de gas se concentra en el costado noroccidental del predio, como se muestra en la siguiente figura.

⁴ La viscosidad del biogás se estima utilizando la siguiente expresión:

$$\mu_{biogás} = \frac{y_i \mu_i \sqrt{M_i} + y_j \mu_j \sqrt{M_j} + y_k \mu_k \sqrt{M_k}}{y_i \sqrt{M_i} + y_j \sqrt{M_j} + y_k \sqrt{M_k}}$$

Donde $y_{i,j,k}$ es la fracción molar de cada componente; $\mu_{i,j,k}$ es la viscosidad de cada componente y $M_{i,j,k}$ es el peso molecular de cada componente. (i) Metano; (j) Dióxido de Carbono; (k) Amoníaco. Las fracciones molares se tomaron de los cálculos de biogás generado por degradación lenta, presentado en el documento identificado bajo el radicado 2019ER104814 del 14/05/2019.

Valores de viscosidad de los componentes tomados de <https://www.engineeringtoolbox.com/>



Así las cosas, mediante radicado 2019ER104814 del 14/05/2019 la EAB define el área norte del predio como la zona de desgasificación, donde según su propuesta allegada bajo radicado 2019ER180582 del 09/08/2019, se deben concentrar las acciones para evacuación del excedente de gas estimado de producción mediante la construcción de 57 chimeneas pasivas con un espacio entre las mismas de 60 m, área delimitada tal y como se indica en la figura No. 1.

No obstante lo anterior, y teniendo en cuenta que:

- Dentro del área denominada por la EAB como “Zona de Menor restricción Ambiental”, se evidencian concentraciones de % LEL superiores al 20% en las mediciones realizadas durante el año 2019 (2019ER184547 del 13/08/2019).
- Teniendo en cuenta la baja densidad de información (12 puntos distribuidos en la totalidad del área - 66 ha), cabe la posibilidad de que existan paquetes o “bolsas” de gas que no pudieron ser identificadas; en particular en el área que corresponde con el mayor almacenamiento histórico de residuos. Por lo que es posible que existan zonas de actividad biológica diferencial que generen algunas acumulaciones de gas, relativamente puntuales que no fueron detectadas.

Esta autoridad ambiental considera que la actividad de desgasificación no solo debe ser desarrollada en la zona norte del predio, sino que debe contemplar la totalidad del mismo.

Así las cosas, la totalidad del área de interés denominada como “Predio Gibraltar” se dividirá en 3 zonas para efectos de las labores de desgasificación como se describe a continuación y se presenta en la figura 2:

1. Área 1: Área norte del predio definida por la EAB como la zona de desgasificación en el documento allegado bajo radicado 2019ER104814 del 14/05/2019.
2. Área 2: Área denominada por la EAB como “Zona de Menor restricción Ambiental”.
3. Área 3: Área restante del predio

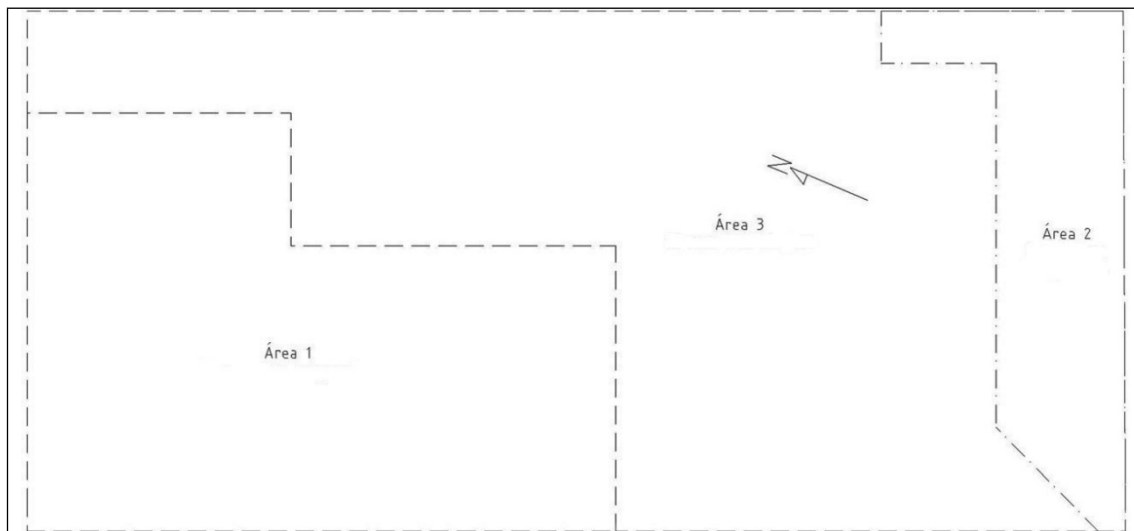


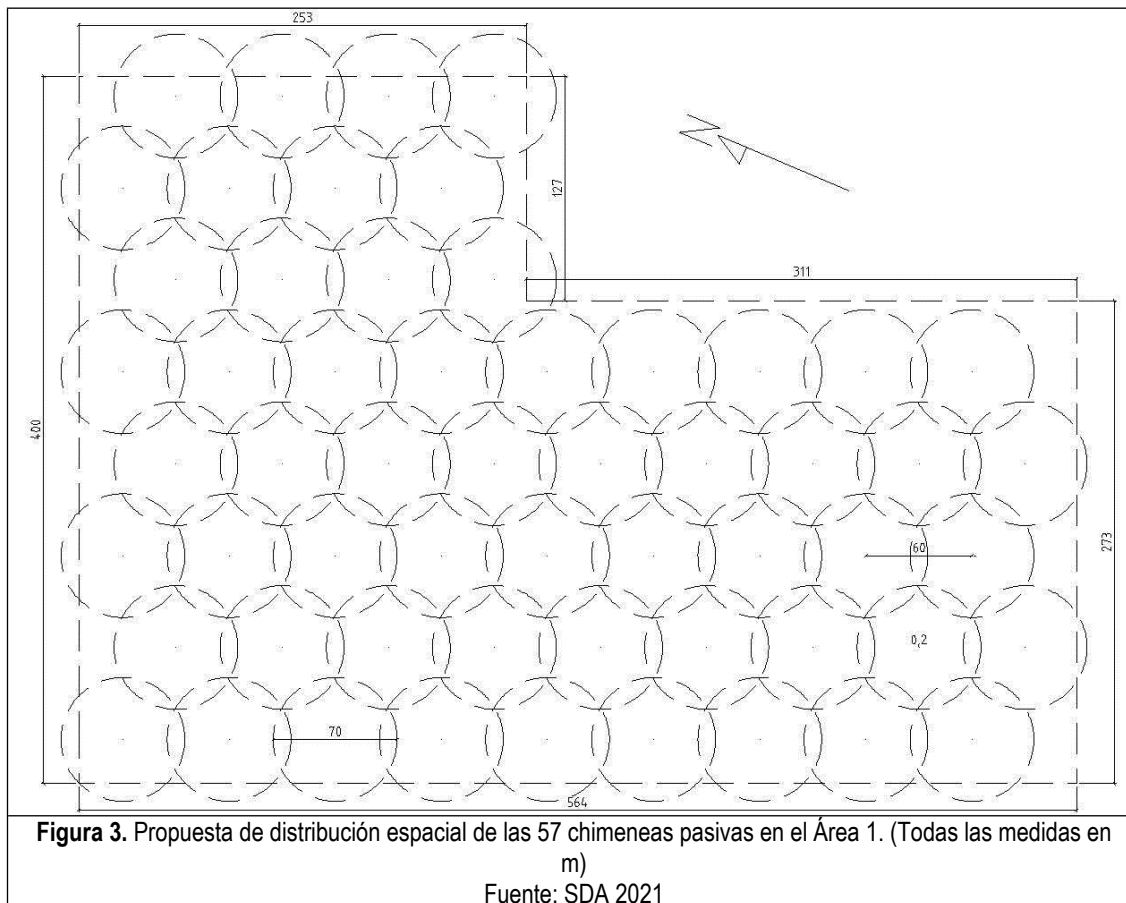
Figura 2. Delimitación de zonas de desgasificación “Predio Gibraltar”

Fuente: SDA 2021

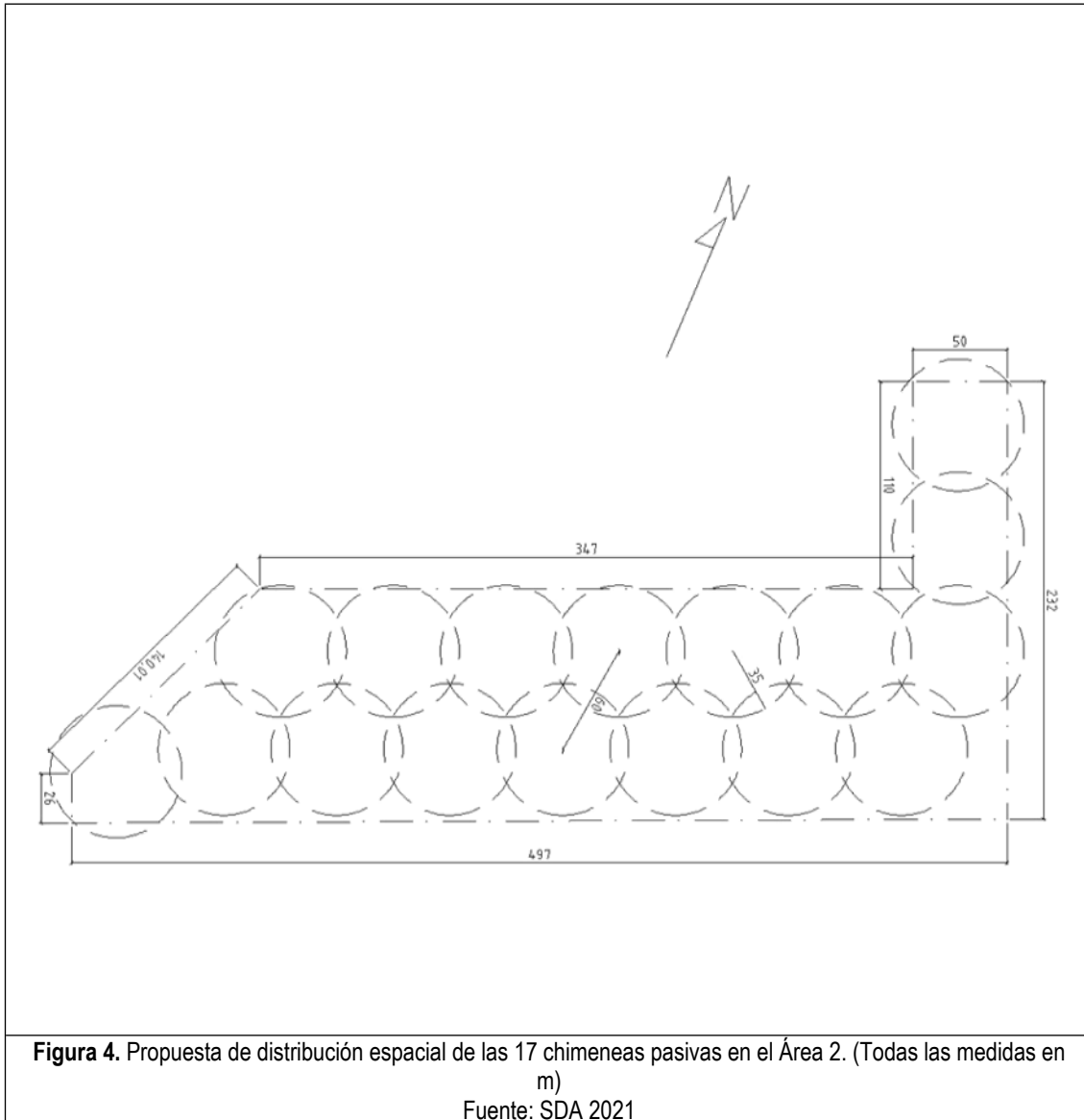
Así las cosas, considerando el número de chimeneas propuestas por la EAB para el Área 1, la SDA ilustra la ubicación espacial aproximada a través de la Figura 3, de las 57 chimeneas pasivas. La distribución se realiza siguiendo un patrón “tresbolillo” distanciando cada perforación 60 m. El área de influencia de cada perforación se estima teniendo en cuenta la separación y utilizando la siguiente relación:

$$D = 2r\cos(30)$$

Donde D es la distancia entre chimeneas y r es el radio de influencia de la misma (Tchobanoglous et al., 1993). En este caso, el radio de influencia por chimenea es de 34,6 m (~35 m), lo que se traduce en un área de influencia cercana a 0,38 Ha por cada punto.



Con esta misma condición de distribución se plantea la instalación de 17 chimeneas de desfogue en la zona sur del predio, denominada como Área 2, tal y como se muestra en la figura No. 4.



Como medida de precaución, se considera necesaria la instalación de 15 chimeneas pasivas, con las mismas características de las que se instalarán en las Áreas 1 y 2, y de igual forma distribuidas en una configuración “tresbolillo”, pero con una menor densidad, quedando a una distancia de 150 m entre cada una. Esta distribución arroja un radio de influencia de cada chimenea de 86,6 m (~90 m), lo que se traduce en un área de influencia de aproximadamente de 2,54 Ha por cada punto, como se muestra en la figura No. 5. Esta distribución complementa el estudio exploratorio previo, cubriendo la totalidad del área restante del predio.

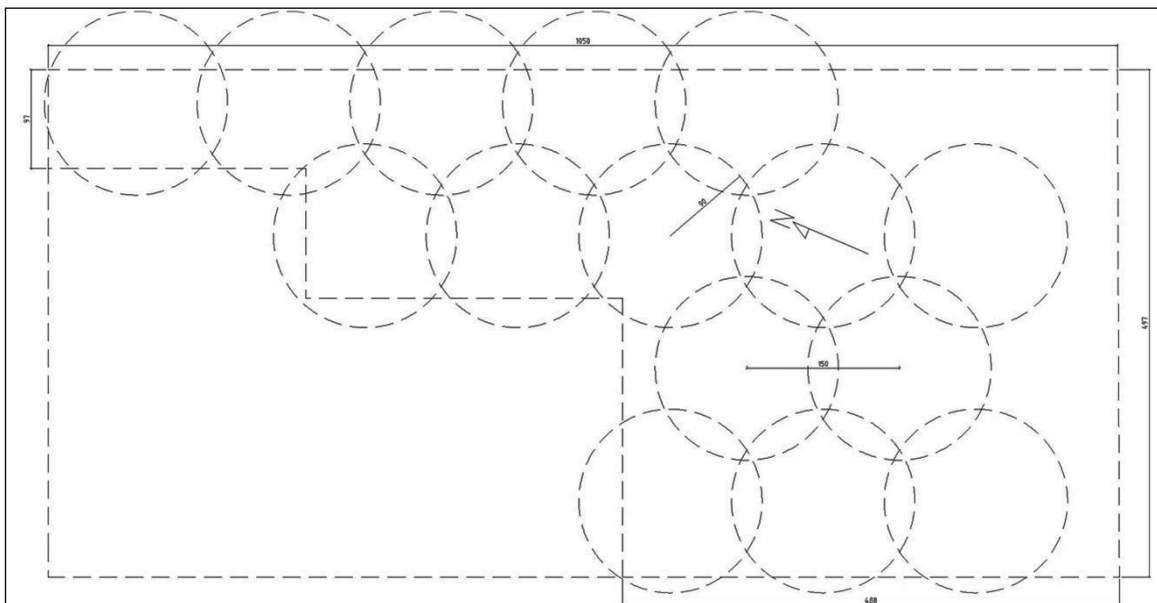


Figura 5. Propuesta de distribución espacial de las 15 chimeneas complementarias en el Área 3. (Todas las medidas en m)

Fuente: SDA 2021

En la figura No. 6 se muestra la distribución de todas las chimeneas de desfogue, en las tres (3) áreas consideradas.

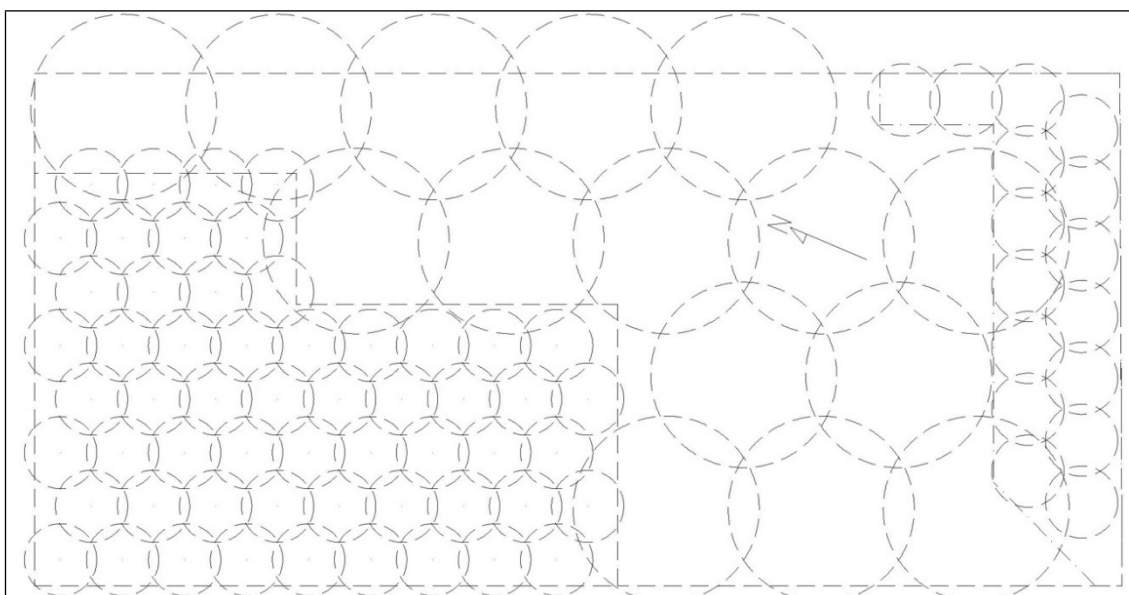


Figura 6. Esquema de distribución de chimeneas de desfogue en las tres (3) áreas consideradas. Fuente: SDA 2021

De esta forma la distribución de chimeneas de desfogue en las tres áreas sería:

1. Área 1: 57 chimeneas pasivas distanciadas 60 m.
2. Área 2: 17 chimeneas pasivas distanciadas 60 m.
3. Área 3: 15 chimeneas pasivas distanciadas 150 m.

Para un total de 89 chimeneas pasivas ubicadas en patrón de “tresbolillo” para las 66 ha del área de interés.

3. INSTALACIÓN DE LAS CHIMENEAS DE DESFOGUE

Se deberá allegar un Plan de Trabajo que contemple la totalidad de los lineamientos técnicos que a continuación define esta Secretaría, así como un cronograma que establezca los plazos, fechas de inicio y finalización de cada una de las acciones a realizar, este documento debe ser presentado a la SDA con el fin de que sea avalado mediante comunicación oficial, así las cosas, deberá allegarse con mínimo treinta (30) días calendario previo a la fecha de inicio propuesta, con la finalidad que los profesionales de la SDA cuenten con el tiempo suficiente para evaluar la documentación y dispongan del personal para el acompañamiento.

Dicho plan de trabajo debe contener la descripción de procedimientos a desarrollar, equipos a emplear, información de laboratorios responsables de muestreos y análisis, certificaciones de calibración de los equipos de medición en campo, información de la manera en que serán gestionados los residuos peligrosos generados, plan para atender cualquier contingencia derivada de estas actividades y cronograma de actividades, todo lo anterior considerando como mínimo los siguientes lineamientos técnicos:

Las chimeneas de desfogue se construyen dentro de una perforación vertical de 8” (20 cm) de diámetro utilizando el sistema de barreno hueco (Hollow Stem Auger). La profundidad de la perforación debe llegar hasta un mínimo del 80% del espesor del relleno antrópico (basura), independientemente de que se llegue a nivel de agua/lixiviado. En ningún caso y sin excepciones, la perforación debe tocar o penetrar la capa inferior de arcilla que aísla la capa de basura del acuífero inferior.

Durante la totalidad del proceso de perforación se debe monitorear de manera constante, la concentración de oxígeno (O_2), %LEL (Límite inferior de explosividad, Metano), CO (Monóxido de Carbono), Dióxido de Carbono (CO_2), COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles) y H_2S (Sulfuro de hidrógeno) en superficie alrededor del barreno. Dichas mediciones se realizarán por medio un explosímetro, para los parámetros CH_4 , O_2 , H_2S y CO, y un fotoionizador – PID (para COVs) que deben encontrarse calibrados y verificados de acuerdo con los gases patrón, para lo cual deberá contar con certificado de calibración vigente expedido por una empresa acreditada por la ONAC.

Como se están realizando perforaciones en lugares de sospecha de acumulaciones subsuperficiales de metano en concentraciones mayores al 20%, cabe la posibilidad que durante el proceso de perforación se generen flujos de gas hacia la atmósfera con el potencial de llegar a concentraciones de peligro. El metano es inflamable y forma fácilmente mezclas explosivas con el aire en concentraciones entre el 5 y 15%. Si en algún momento la lectura del explosímetro supera el 50% del Límite Inferior de Explosividad (%LEL) o una

concentración de metano en aire superior al 2,5%, se deben detener las actividades de perforación de manera inmediata. Si se está utilizando equipo mecánico de perforación impulsado por motor de combustión interna, debe ser removido del lugar de forma inmediata y con la mayor celeridad posible. Se debe permitir que la perforación drene libremente el gas y se debe monitorear el lugar si la concentración de gas metano varía. En caso de aumentar y superar el 75% del Límite Mínimo de Explosividad (%LEL) se debe contactar a los bomberos y seguir sus indicaciones. No obstante lo anterior, quien desarrolle la actividad deberá tener un plan para atender cualquier contingencia derivada de estas actividades relacionado con los gases emanados, riesgos sobre la salud de los trabajadores, población aledaña y futuros usuarios del parque, riesgos de ignición-exposición, olores, manejo de RESPEL, lixiviados y demás riesgos que acarreen los trabajos requeridos, de manera que dicho plan conlleve a una reacción inmediata y a notificar a las autoridades de gestión del riesgo como el Cuerpo Oficial de Bomberos y demás autoridades competentes.

Para la construcción de cada chimenea se debe seguir lo establecido en la guía ASTM D5092-04 y considerar los siguientes lineamientos:

Dentro de la perforación se debe instalar una tubería de 2" (5 cm) o 4" (10 cm) la cual debe contar con una sección ranurada iniciando inmediatamente debajo del material de cobertura y hasta la profundidad de la perforación. La tubería debe tener una sección ciega a partir del punto más bajo de la capa de cobertura y prolongarse por fuera de la superficie del suelo a una altura mínima de 1,5 m⁵. Así mismo, debe terminar en un accesorio tipo "cuello de ganso" para evitar entrada de agua a la tubería durante momentos de lluvia. Este accesorio puede ser removible. De igual forma, a 0,5 m sobre el nivel de superficie se debe instalar una "T" que servirá como puerto para la toma de medidas de caudal y salida de tuberías de muestreo de gases. La salida lateral del accesorio permanecerá cerrada, con un tapón del diámetro adecuado mientras no se estén realizando las mediciones de caudal y/o calidad de gases.

Luego de la instalación de la tubería, la perforación debe ser llenada con grava lavada, limpia, con tamaños de partícula entre 3/8" (1.0 cm) y 1/2" (1.25 cm) en toda la extensión de la sección ranurada, hasta el límite inferior de la capa de cobertura. Esta grava servirá tanto de material permeable para el flujo de gas, como para mantener la integridad de la perforación e impedir su colapso.

Inmediatamente encima de la grava, a la profundidad que se encuentre el límite inferior de la capa de cobertura se debe aplicar una capa de 15 a 30 cm de espesor de bentonita, a manera de sello. Esta capa impedirá el flujo vertical de gases a través de la gravilla al mismo tiempo que retiene cualquier infiltración superior hacia la capa de residuos. Por encima de este sello de bentonita se debe rellenar la sección de perforación restante con el mismo material de la capa de cobertura removido durante el proceso de perforación (USEPA, 1985). La figura No. 7 muestra un esquema general de la chimenea de desfogue típica⁶.

⁵ Esta altura puede modificarse, de acuerdo a condiciones de operación medidas en campo, como se indica en el numeral 4 del presente documento.

⁶ Dada la forma de su construcción, estas chimeneas pueden servir como piezómetros para control de nivel de agua subterránea/lixiviados en toda la extensión del predio.

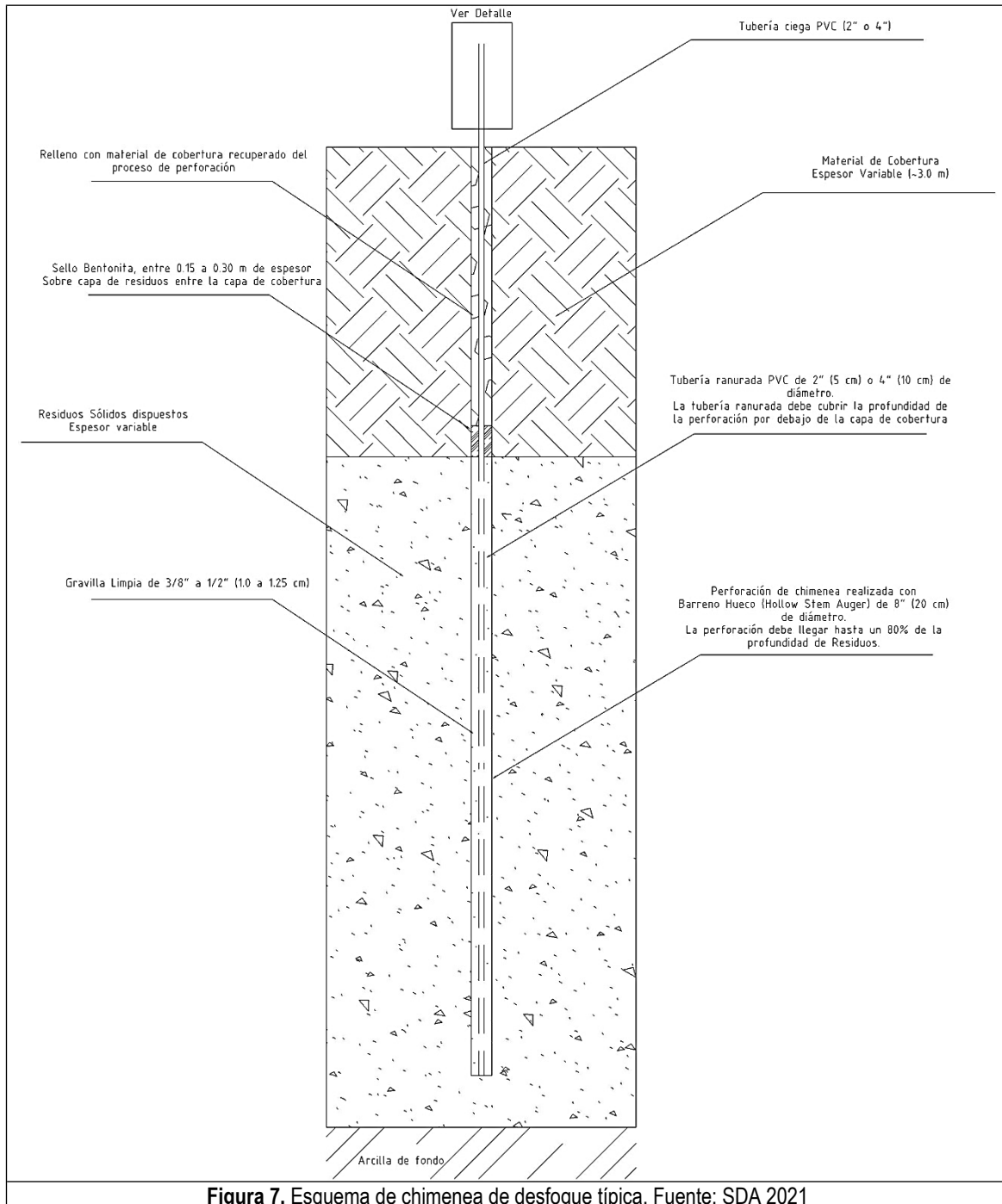


Figura 7. Esquema de chimenea de desfogaje típica. Fuente: SDA 2021

- **Nota 1:** Las actividades a adelantar deben ser informadas previamente al Cuerpo Oficial de Bomberos de manera que se cuente con el visto bueno, y en caso de ser necesario acompañamiento de su personal para garantizar que los trabajos se realicen cumpliendo con todas las normas de seguridad que este determine.
- **Nota 2:** La totalidad del material extraído durante las labores de perforación e instalación de las chimeneas de desfogue (suelo, mezclas de lixiviado y agua) deberá ser manejado como residuo peligroso consecuente con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015 - Título 6 (Decreto 4741 de 2005), por ningún motivo se deberá realizar almacenamiento a cielo abierto de dichos residuos ni facilitar la contaminación cruzada como consecuencia del arrastre por escorrentía.
- **Nota 3:** El transporte del material afectado debe seguir los lineamientos establecidos en el Decreto 1079 de 2015 - Título 1/Capítulo 7 (Decreto 1609 de 2002), para lo cual es necesario disponer de empresas autorizadas que garanticen el traslado del residuo peligroso dando cumplimiento a la normatividad ambiental.
- **Nota 4:** Los puntos donde se instalen las chimeneas deben ser georreferenciadas y sus coordenadas geográficas se deben presentar con base en el sistema MAGNA SIRGAS Datum Observatorio Astronómico Bogotá Latitud: 4° 40' 49.75" 00 N, Longitud 74° 08' 47.73" W, la altura del plano de proyección 2550 metros. Origen coordenadas planas cartesianas Norte: 109320.96, Este: 92334.88. NOTA: Si se calculan manualmente especificar el método de transformación de coordenadas y parámetros elipsoidales usados. Si se usa un programa o calculadora geográfica para transformar las coordenadas planas a geográficas anexar o especificar el método de transformación que utiliza el software y parámetros usados
- **Nota 5:** En caso que durante las labores de perforación, instalación u operación de las chimeneas se identifique la presencia de bolsas de gas adicionales y en consecuencia se determine la necesidad de instalar chimeneas adicionales, se podrán construir previa comunicación a esta autoridad ambiental.

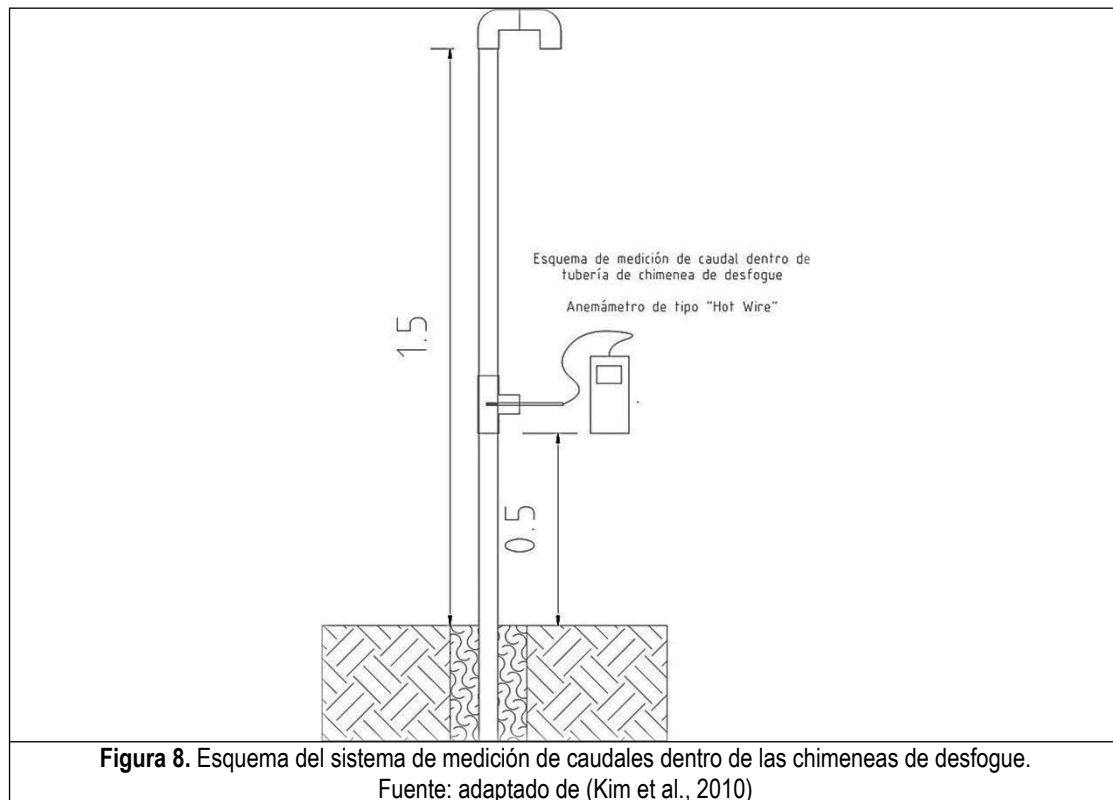
4. PROCESO DE MEDIDA DE GASES Y CAUDALES

A continuación se dan los lineamientos técnicos mínimos que deben ser considerados para la determinación de las concentraciones de gases de interés (CH_4 , H_2S , CO_2 , CO y O_2) así como los caudales de gas evacuados por las chimeneas⁷:

- Caudal de gas en la tubería: se utiliza un anemómetro de alambre caliente (Hot Wire Anemometer), insertando la sonda a través del orificio lateral a la altura de la "T". Este puerto de monitoreo se ubica, por lo menos, a 1 m por debajo de la parte superior de la tubería para reducir la influencia del viento del exterior. La velocidad del gas debe medirse tres veces y se promedia para dar el resultado. Se debe medir la velocidad de salida de los gases por lo menos dos (2) veces por semana

⁷ Se deben atender los lineamientos presentados, además de considerar lo estipulado dentro del estándar IEC 60079-29-2:2015 "Gas detectors - Selection, installation, use and maintenance of detectors for flammable gases and oxygen"
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas N° 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

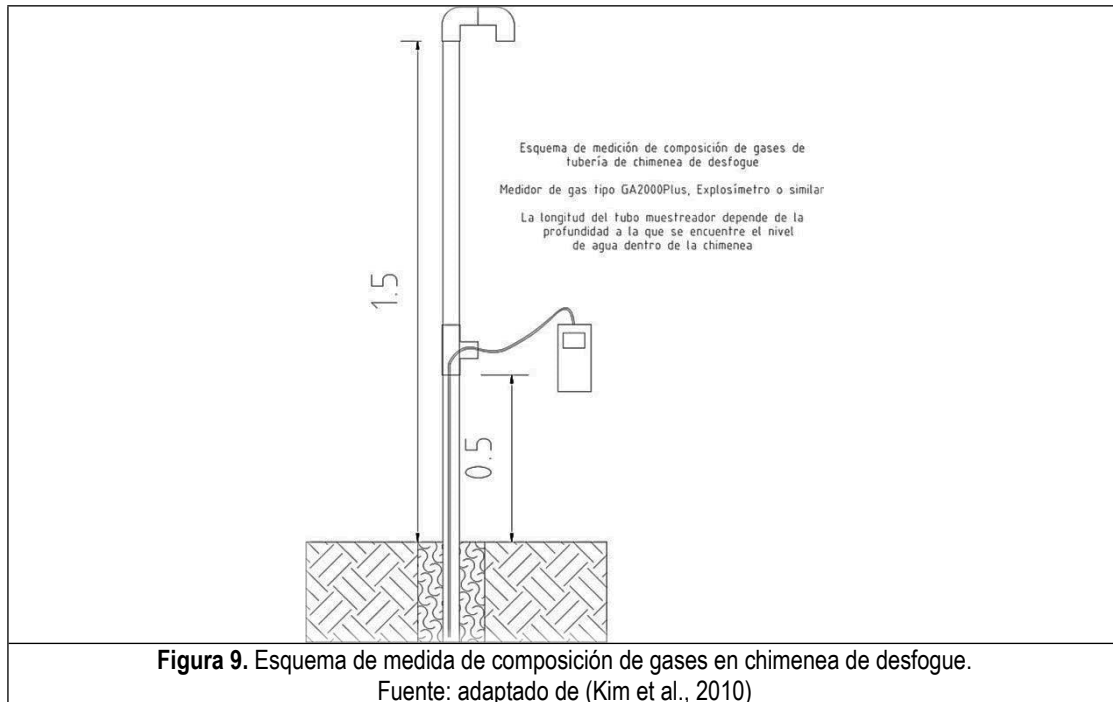
en cada una de las chimeneas instaladas; haciendo el registro correspondiente para reporte (Kim et al., 2010). La figura No 8 muestra el esquema de medición de caudales.



- Composición de los gases: La composición del gas se debe controlar usando un analizador de gas portátil (GA2000Plus, Geotechnical Instruments, explosímetro portátil o similar) y se debe registrar la lectura después de un tiempo de muestreo de 60 segundos. La cantidad de N_2 se determina a partir del balance de todas las lecturas de gas (CH_4 , CO_2 , O_2 , CO y H_2S). La temperatura en la tubería también se debe medir a través de una termocupla, pues influye en los cálculos de caudales de gas.

La composición del gas se debe medir bajando un tubo colector de plástico PVC transparente (o similar) de 5 mm de diámetro insertado dentro de la tubería de la chimenea, a través de la apertura lateral utilizada igualmente para la medida de caudal. Antes de tomar las medidas, se determinaba el nivel del agua con sonda. El tubo de recolección, al igual que la termocupla, deben ser bajados, por dentro de la tubería, hasta llegar un poco por encima (~15-30 cm) del nivel del agua. En ese punto se debe tomar una medida de la composición de los gases y registrar. Para minimizar tiempos de preparación, se sugiere el uso de una pequeña bomba de succión manual para llenar (purgar) la tubería flexible con el gas interior, antes de iniciar la determinación. Dependiendo de las condiciones de caudal de muestreo del aparato medidor, esta operación puede durar un par de minutos (Kim et al., 2010). La composición del gas debe medirse tres (3) veces y se debe utilizar el promedio de las

medidas. La medida se debe realizar al menos 2 veces por semana en todas las chimeneas de desfogue instaladas. La figura No. 9 representa el esquema de control de composición de gases para el sitio.



En caso que la determinación de las concentraciones de gases dentro de chimenea arroje valores de concentración de metano por encima del 2.5% (50% LEL) se debe determinar la posibilidad de que este gas genere mezclas explosivas al salir al aire (como función del caudal de salida).

Si ocurre esta situación, se debe elegir alguna de las siguientes opciones:

- Instalar a la salida del tubo de la chimenea un control de caudal (válvula) que regule la cantidad de gas liberado para mantener la condición de mezcla siempre por debajo de la concentración LEL indicada.
- Levantar el desfogue (la tubería de PVC) a una altura superior a 2,5 m sobre el nivel de la superficie, para mejorar la dispersión del gas en la atmósfera.

En cualquiera de los dos casos, se debe modificar la frecuencia de monitoreo, tomando y registrando una medida diaria de caudal y composición.

En el evento en que tres (3) instancias de medida consecutivas de caudal de gas se encuentren por debajo del límite de medición del anemómetro y, de la misma manera, estas mismas instancias consecutivas no

registren concentraciones de metano por encima del límite de detección del medidor⁸, se puede considerar que la chimenea ha drenado completamente el exceso de gas.

Cuando esto ocurra, se puede prescindir de la estructura superficial de la chimenea de desfogue; sin embargo, se recomienda que no se clausure, ya que la estructura enterrada sigue cumpliendo la labor de desfogue de cualquier biogás que se pueda estar produciendo dentro de la masa de relleno antrópico (residuos), evitando su acumulación. Se puede aprovechar esta condición, ocultando el extremo superior de la chimenea de manera que siga habiendo una conexión con la atmósfera pero con una estructura inconspicua. Se sugiere hacer una pequeña excavación, de unos 30 cm de profundidad, alrededor de la sección sobresaliente de la tubería de desfogue y recortarla a este nivel; instalando un accesorio que permita el flujo de gas, sin permitir la entrada de material a la tubería y cubrir con material grueso (gravas) hasta llegar a superficie. De esta manera se asegura que la chimenea sigue drenando cualquier producción esporádica de gas y no se generen acumulaciones dentro de la masa que puedan causar algún riesgo a futuro, además de quedar oculta a la vista.

En caso que la chimenea se encuentre en una zona donde se deban realizar excavaciones (para obras futuras) se debe recortar la chimenea a nivel de superficie y colocar un tapón agujereado. En el momento de en que se pretenda iniciar las excavaciones se debe medir la concentración de gases en la chimenea (de manera similar a la operación de control) y si las concentraciones de gases no presentan ningún cambio, proceder con la excavación.

Si, por el contrario, las concentraciones son detectables y entran dentro de los rangos anteriormente descritos, se debe reconstruir la extensión de desfogue y retomar el monitoreo de gases en las mismas condiciones antes descritas.

- **Nota 6:** Todos los equipos que se utilicen para realizar mediciones en campo como caudal de gas y composición de gases deben encontrarse calibrados, para lo cual deberán contar con certificado de calibración vigentes expedidos por una empresa acreditada por la ONAC.
- **Nota 7:** Tanto para las actividades de instalación de chimeneas de desfogue, como durante el proceso de desgasificación pasiva se debe contar con un plan para atender cualquier contingencia derivada de estas actividades relacionado con los gases emanados, riesgos sobre la salud de los trabajadores, población aledaña y futuros usuarios del parque, riesgos de ignición-exposición, olores, manejo de RESPEL, lixiviados y demás riesgos que acarreen los trabajos requeridos, de manera que dicho plan conlleve a una reacción inmediata y a notificar a las autoridades de gestión del riesgo como el Cuerpo Oficial de Bomberos y demás autoridades competentes.
- **Nota 8:** Todas las personas que hagan parte de las labores de desgasificación pasiva requeridas, tanto durante la instalación de chimeneas como durante el monitoreo de gases deben contar en todo momento con todos los EPPs necesarios para garantizar su seguridad de manera que se reduzca al máximo cualquier riesgo hacia su salud.

⁸ De forma complementaria, se puede concluir lo mismo si el medidor de gases registra, a la profundidad de medida, una concentración de oxígeno por encima de 19%.

5. INFORME DE ACTIVIDADES DE DESGASIFICACIÓN

Finalizadas las actividades de desgaseificación del área de interés se deberá remitir un informe de actividades a esta Autoridad Ambiental, el cual debe contener o considerar como mínimo lo siguiente:

- Descripción de actividades de campo y procedimientos implementados para las perforaciones y mediciones en campo soportados con registro fotográfico.
- Reporte de cada una de las perforaciones e instalación de chimeneas indicando hallazgos, profundidad, registro de mediciones de gases durante la instalación y observaciones a tener en cuenta.
- Informe de la georreferenciación de la totalidad de los puntos donde se instalen las chimeneas de desfogue junto con planos donde se ubique cada una.
- Histórico de todas las mediciones de gases y caudales en las chimeneas instaladas.
- Descripción del tratamiento realizado con las chimeneas descomisionadas en caso que se haya prescindido de alguna/s de esta/s.
- Los certificados que soporten la gestión del material extraído durante las perforaciones e instalación de las chimeneas de desfogue (suelo, mezclas de lixiviado y agua) (residuos peligrosos) en cumplimiento de la normativa ambiental aplicable al tema, así las cosas, deberá allegar documentos soporte como lista de chequeo para transporte de residuos peligrosos, manifiesto de carga y el certificado de disposición final.
- Proporcionar un análisis detallado de toda la información, los resultados y conclusiones.

6. MUESTREO DE SUELOS

Teniendo en cuenta que en una extensa zona del predio se acostumbró a disponer lodos de alcantarillado directamente sobre la superficie, se considera importante hacer un muestreo de este suelo superficial para determinar las condiciones ambientales del mismo, en términos de contenido de compuestos como arsénico, metales pesados⁹ (como mínimo plomo, mercurio total, cadmio, cromo total, cromo hexavalente, cobalto aluminio, níquel y cobre) e hidrocarburos totales del petróleo (fracciones GRO, DRO y ORO), para poder definir las condiciones de riesgo inherente a la exposición de los trabajadores a este material durante las etapas constructivas de excavaciones y usuarios futuros de este predio.

Por tal motivo, se ha considerado que durante las actividades de construcción del sistema de desgaseificación es posible recuperar fácilmente una muestra del suelo superficial para su posterior análisis en laboratorio y de ésta forma determinar, previo desarrollo de las actividades de construcción, acciones correctivas asociadas al riesgo generado por las concentraciones de sustancias de interés presentes en el lugar, así las cosas se deberá tomar muestras del suelo de cobertura (primeros 50 cm, descartando suelo de los primeros 5 cm de profundidad por debajo de la cobertura vegetal) para determinación de los parámetros antes mencionados.

⁹ Esta Entidad recomienda se realice el análisis de las sustancias mediante la técnica ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente) teniendo en cuenta su alta precisión y sensibilidad así como bajos límites de detección.

Debido a que no se tiene información sobre la dispersión de la concentración de las sustancias de interés en la extensión del predio, el "Soil Screening Guidance" de la USEPA sugiere que se considere la posibilidad de tener una alta dispersión y estimar un número de muestras que cumplan con un nivel de error específico utilizando la distribución "t". Para este caso, dada la incertidumbre existente, se asume una dispersión de las concentraciones de las sustancias potencialmente presentes del orden de 3 veces el nivel de referencia. En esas condiciones, (Watts, 1998) sugiere que el número mínimo de muestras se calcule utilizando la siguiente expresión:

$$n = \frac{t^2 s^2}{D^2}$$

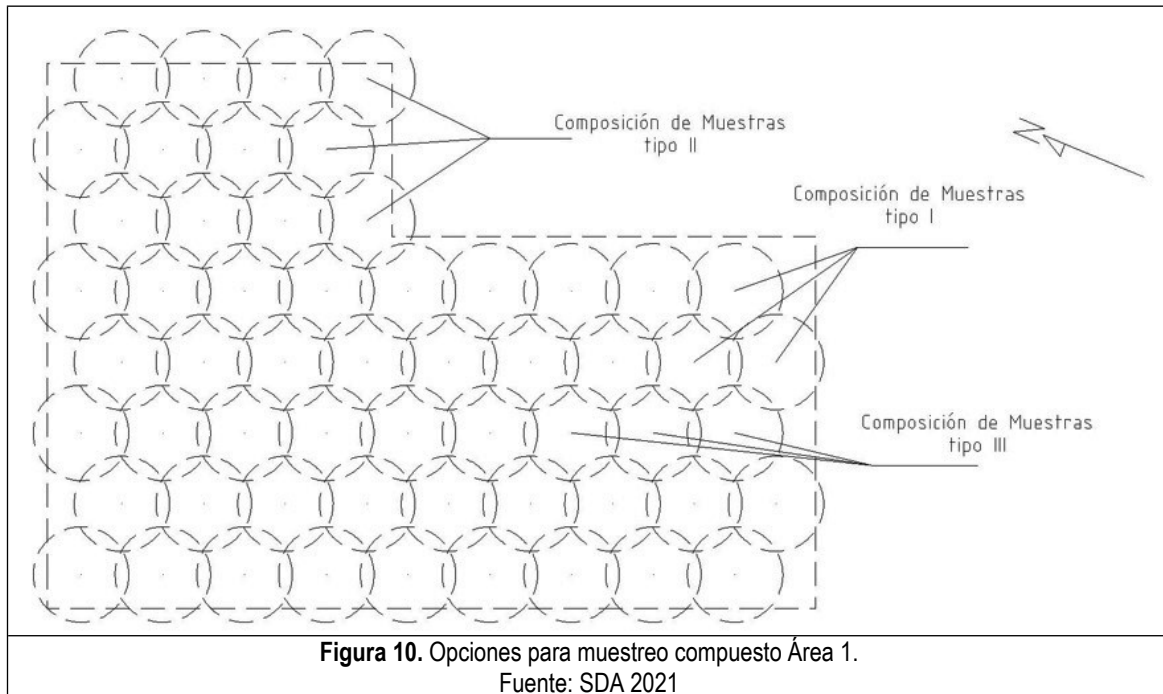
Donde n es el número mínimo de muestras que se deben tomar para cumplir con un intervalo de confianza definido; t es el valor de la distribución "t" para ese mismo intervalo de confianza específico (1- α) y un número definido de grados de libertad; s es la desviación estándar (para este caso se asume 3 veces el valor del nivel de referencia) y D es el nivel de referencia de la sustancia específica.

Así las cosas, para este caso en particular, se define un intervalo de confianza del 95% ($\alpha=2,5\%$ en dos colas); considerando infinitos grados de libertad, el valor de la distribución "t" es de 1,96 (t). Aplicando estos valores a la expresión anterior resulta $n=9t^2$, lo que al calcular da como resultado 34,57, es decir, se deben tomar un mínimo de 35 muestras para lograr el 95% de intervalo de confianza.

Teniendo en cuenta que se realizarán 89 perforaciones dentro del predio para la construcción de chimeneas de desfogue, se considera la utilización del material superficial de cobertura resultante de la perforación como muestra.

Se sugiere la siguiente distribución de muestras:

- Área 1: Muestras compuestas tomando el material recuperado de 3 perforaciones contiguas, pudiéndose hacer la composición de éstas de tres formas diferentes (como se muestra en la figura 10), de manera tal que se cubra toda el área y se recupere un total de 19 muestras compuestas.



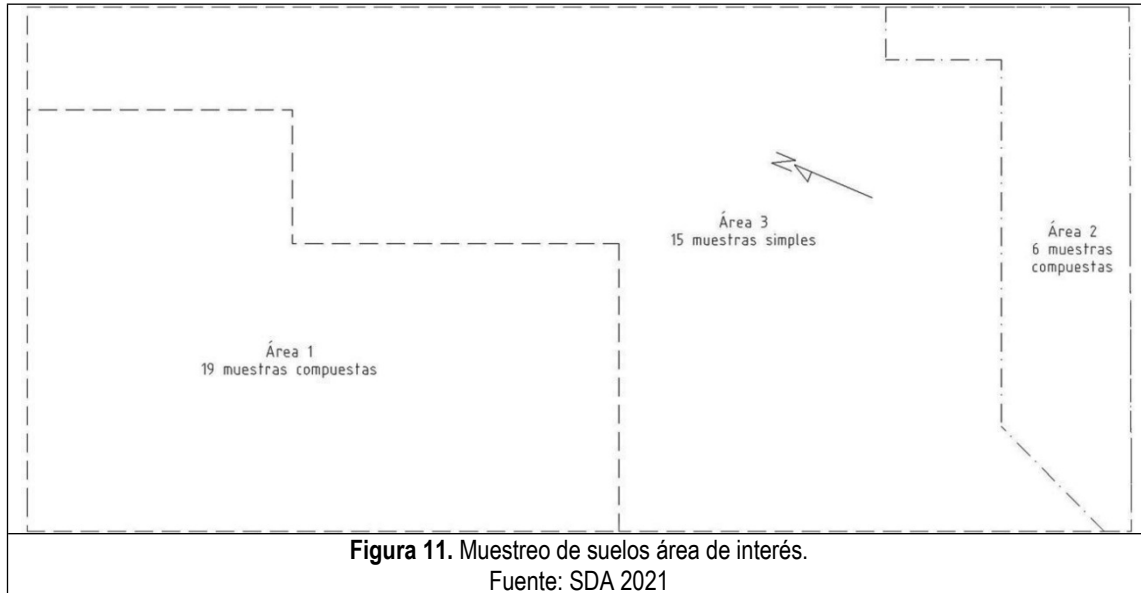
- Área 2: Tomar seis (6) muestras compuestas siguiendo el mismo procedimiento de composición¹⁰.
- Área 3: Las muestras deberán ser puntuales, provenientes de cada una de las perforaciones para las chimeneas de desfogue; es decir, que se deben recuperar 15 muestras simples de esta zona.

En total se deben recuperar un total de 40¹¹ muestras de suelo para ser analizadas por un laboratorio acreditado en los parámetros anteriormente estipulados.

La figura 11 muestra un resumen del muestreo.

¹⁰ Dado que el número de chimeneas planteadas para este lugar es de 17, una de las muestras se debe componer de solamente dos puntos.

¹¹ Este número de muestras es mayor que el mínimo estipulado, lo que significa que se cumple con el intervalo de confianza definido.



Los muestreos deben considerar como mínimo los siguientes aspectos:

- Es importante tener en cuenta que para la ejecución de los sondeos no se debe utilizar ningún tipo de fluido de perforación, ya sea aire o líquido debido a que se perdería la integridad de las muestras de suelo, además de modificar los resultados de laboratorio, especialmente los COV.
- La toma de muestras de suelo debe realizarse teniendo en cuenta métodos perforación y muestreo que garanticen que las muestras no sean alteradas y que puedan impedir la contaminación cruzada.
- Se deberá identificar exactamente el tramo de muestra que fue recolectado, y la profundidad con relación al nivel del suelo que fue muestreada.
- Conforme al Artículo 2.2.3.3.4.9 del Decreto 1076 de 2015, tanto la toma de muestra como el análisis de los parámetros deberán ser realizados por laboratorios que se encuentren acreditados para dicho fin por el IDEAM. De no contarse con los laboratorios acreditados en el país para los análisis de las muestras se podrá subcontratarlos con laboratorios internacionales que deberán estar acreditados para tales fines por el organismo facultado para el país de origen.
- La cadena de custodia deberá ser diligenciada en su totalidad, debe contener la información de cada una de las muestras tomadas incluyendo identificación de la muestra, fecha y hora de toma, matriz involucrada y análisis a ejecutar.
- Todos los muestreos se deberán identificar claramente en la cadena de custodia, indicando la profundidad a la cual fue tomada la muestra y el tramo de la columna que fue enviado a laboratorio.
- Se deben seguir adecuados protocolos de custodia de las muestras colectadas, por tanto el manejo de las muestras debe ser enteramente realizado por el laboratorio ambiental que realice el muestreo, el cual debe estar acreditado por el IDEAM para esta actividad, es decir que desde la toma de muestras hasta la recepción de estas en el laboratorio ninguna otra compañía o empresa debe intervenir en la logística de envío y entrega de las muestras, en este sentido en la documentación del proceso de muestreo,

envió y análisis de las muestras debe figurar este laboratorio (cadenas de custodia, guías de envío, entre otros).

- La totalidad del material sobrante de las labores de perforación e instalación de chimeneas de desfogue deberá ser manejado como residuo peligroso consecuente con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015 - Título 6 (Decreto 4741 de 2005), por ningún motivo se deberá realizar almacenamiento a cielo abierto de residuos peligrosos, ni facilitar las labores de contaminación cruzada como consecuencia del arrastre por escorrentía.
- El transporte del material afectado debe seguir los lineamientos establecidos en el Decreto 1079 de 2015 - Título 1/Capítulo 7 (Decreto 1609 de 2002), para lo cual es necesario disponer de empresas autorizadas que garanticen el traslado del residuo peligroso dando cumplimiento a la normatividad ambiental.
- Todo equipo (si no es exclusivo) deberá ser limpiado entre ubicaciones de muestreo, y antes de retirarse del sitio, consecuente con lo establecido en la guía técnica ASTM -D5088-15a.

7. INFORME DE MUESTREO DE SUELOS

El informe de actividades se deberá remitir a esta Autoridad Ambiental después de finalizadas las actividades de monitoreo, el cual debe contener o considerar lo siguiente:

- Descripción de actividades de campo y procedimientos implementados para las perforaciones, toma de muestras y mediciones en campo soportados con registro fotográfico.
- Resultados de los análisis expedidos por los laboratorios acreditados, con sus respectivas cadenas de custodia.
- Espacialización de los resultados de laboratorio en mapas de la zona. Se deben presentar planos en donde ubiquen las chimeneas de desfogue.
- Los certificados que soporten la gestión del material extraído durante las perforaciones e instalación de las chimeneas de desfogue (suelo, mezclas de lixiviado y agua) (residuos peligrosos) en cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable al tema, así las cosas, deberá allegar documentos soporte como lista de chequeo para transporte de residuos peligrosos, manifiesto de carga y el certificado de disposición final.
- Proporcionar un análisis detallado de toda la información, los resultados y conclusiones.

6 *Gas Transport in Soil* (pp. 183–192). (1983). [https://doi.org/10.1016/s0166-2481\(08\)70053-9](https://doi.org/10.1016/s0166-2481(08)70053-9)

Kim, H. J., Yoshida, H., Matsuto, T., Tojo, Y., & Matsuo, T. (2010). Air and landfill gas movement through passive gas vents installed in closed landfills. *Waste Management*, 30(3), 465–472.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.005>

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management - Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill - Water Resources and Environmental Engineering Series.

USEPA. (1985). *Remedial Actions Waste Disposal.pdf*. USEPA.

Watts, R. J. (1998). *Hazardous wastes : sources, pathways, receptors*. Wiley.

Atentamente,



REINALDO GELVEZ GUTIERREZ
SUBDIRECCION DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

Sin anexos

Proyectó: JULIO CESAR REYES VARGAS