

Evaluación de la Viabilidad y la Funcionalidad del Sistema de Monitoreo Remoto Automatizado del Flujo de Biogás en el Campo de Pozos y la Composición de los Gases

Vertedero de Chiquita Canyon
Castaic, California
Centro de SCAQMD No. 119219

Chiquita Canyon, LLC
29201 Henry Mayo Drive
Castaic, CA 91384

Presentado a:

Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur
21865 Copley Drive
Diamond Bar, CA 91765
909-396-2000

SCS ENGINEERS

01204123.21-13 | 8 de abril de 2026

15521 Midlothian Turnpike, Suite 305
Midlothian, VA 23113
804-378-7440

Tabla de Contenido

Sección	Página
Introducción	1
Estudio de Viabilidad Piloto que Evalúa la Instrumentación, los Equipos y los Controles del RMS para Medir el Flujo y la Composición de los Gases	3
Evaluación de la Viabilidad Técnica de la Instalación y la Funcionalidad de los Instrumentos y Equipos de Medición de Flujo y Gas	3
Componente 1 - Medición del Índice de Flujo	3
Componente 2 - Medición de la Composición de los Gases	4
Componente 3 - Dispositivo IIoT Industrial y Tarjetas de Entrada Remota	5
Componente 4 - Sistema de Energía Solar.....	6
Evaluación del Desempeño, la Viabilidad y la Confiabilidad de los Instrumentos Bajo Condiciones Variables de la Zona Reactiva	6
Componente 1 - Medición del Índice de Flujo	6
Componente 2 - Medición de la Composición de los Gases	8
Validación de los Datos Recibidos del RMS.....	11
Medición de la Composición de los Gases	11
Piloto 1 (CV-24126)	12
Piloto 2 (CV-24076)	12
Piloto 3 (CV-24151)	13
Piloto 4 (CV-24088)	13
Piloto 5 (CV-24066)	14
Medición del Flujo	14
Inspección y Limpieza de los Componentes	14
Evaluación de la Futura Implementación del RMS.....	16
Conclusiones del Estudio de Viabilidad Piloto	19
APÉNDICE A - Tablas Comparativas de los Datos de los Pilotos	
APÉNDICE B - Tendencias de la Composición de los Gases y del Vacío	
APÉNDICE C - Fotos del Sistema Piloto	
APÉNDICE D - Fotos del Mantenimiento	
APÉNDICE E - Planos del Ensamble Piloto	
APÉNDICE F - Hojas de Datos de los Dispositivos	

INTRODUCCIÓN

Chiquita Canyon, LLC (Chiquita) opera un centro de disposición para vertederos de desechos sólidos municipales (MSW)/desechos sólidos inactivos ubicado en Castaic, California, en el Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur (AQMD de la Costa Sur) Centro No. 119219. El Comité de la Reacción elaboró este informe que evalúa la viabilidad y la funcionalidad de cinco (5) Sistemas de Monitoreo Remoto Automatizado para medir el Flujo de Biogás en el Campo de Pozos y la Composición de los Gases, en cumplimiento con la Condición No. 75(f) de la Orden de Depuración Estipulada Modificada (SOFA Modificada) (Caso No. 6177-4) relacionada con el Vertedero de Chiquita Canyon (CCL, el Centro o el Vertedero) y la *Propuesta de Evaluar la Viabilidad y la Funcionalidad del Sistema Monitoreo Remoto Automatizado para medir el Flujo de Biogás en el Campo de Pozos y la Composición de los Gases* (Protocolo de Prueba) presentado al AQMD de la Costa Sur el 29 de agosto de 2025 y revisado el 19 de septiembre de 2025, en respuesta a los comentarios recibidos del AQMD de la Costa Sur el 9 de septiembre de 2025.

Este informe presenta la evaluación de la viabilidad y la funcionalidad, como también la factibilidad de la instrumentación, equipos, telemetría y componentes de control seleccionados que se analizaron en una prueba piloto para un sistema de monitoreo remoto (RMS) de medición remota automatizada del índice de flujo y la composición (metano, dióxido de carbono y oxígeno) del biogás (LFG) que se instalaron en cinco pozos de extracción de LFG selectos entre un subconjunto de pozos identificados en la Condición No. 75 (b) a (c).

La Condición No. 75(f) de la SOFA Modificada requiere que:

Para el 29 de agosto de 2025, el Comité de la Reacción deberá presentar una propuesta para evaluar la viabilidad y la funcionalidad de agregar el índice de flujo y la composición como parámetros de monitoreo a por lo menos cinco (5) unidades en los pozos indicados en esta condición. La propuesta deberá ser entregada a Baitong Chen [bchen@aqmd.gov]; Nathaniel Dickel [ndickel@aqmd.gov]; Christina Ojeda [cojeda@aqmd.gov]. El demandado deberá realizar la evaluación de la viabilidad. El Comité de la Reacción deberá presentar un informe final al AQMD de la Costa Sur (a Baitong Chen [bchen@aqmd.gov]; Nathaniel Dickel [ndickel@aqmd.gov]; Christina Ojeda [cojeda@aqmd.gov]) detallando los resultados del estudio de viabilidad y las recomendaciones para un mayor despliegue del sistema de monitoreo remoto antes de que pasen 210 días desde la presentación de la propuesta de la viabilidad con un mínimo de 3 meses de recolección de datos.

La documentación previa elaborada conforme a la Condición No. 66 y 75 de la SOFA Modificada que tratan los equipos del RMS automatizado para pozos y cabezales de pozos de LFG y que sirve como referencia para este informe y proporciona información sobre los antecedentes para prever la viabilidad, funcionalidad y factibilidad de ciertos componentes incluyen lo siguiente:

- **Plan de Monitoreo Remoto Automatizado del Campo de Pozos de LFG elaborado por SCS Engineers, con fecha 19/4/24.** Este Plan fue elaborado conforme a una versión anterior de la Condición 66 de la SOFA e identificó los parámetros operativos aplicables de pozos y cabezales de pozos de extracción de LFG, detalló el propósito y los objetivos del monitoreo remoto de estos parámetros operativos, analizó la instrumentación y los equipos de monitoreo específicos y presentó las recomendaciones del Comité de la Reacción para la implementación de un sistema de monitoreo remoto en el Vertedero.
- **Respuesta a la Orden de Depuración Estipulada de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur en el Caso No. 6177-4 Condición 66(a)(ii) elaborada por SCS Engineers con fecha 17/9/24.** Esta respuesta detallaba los problemas e inquietudes previstos con el diseño, la especificación, la instalación y la implementación del monitoreo remoto del campo de pozos de LFG e identificó los

seis componentes principales del sistema que se están considerando. La respuesta incluyó evidencia de comunicación con el sistema, el dispositivo y los proveedores/fabricantes y/o contratistas de componentes y también comentó sobre la cadena de suministro y los plazos.

- **Respuesta a la Orden de Depuración Estipulada de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur en el Caso No. 6177-4 Condición 66(a)(iii) elaborada por SCS Engineers con fecha 11/10/24.** Esta respuesta proporcionó documentación de las comunicaciones continuas con proveedores, fabricantes y distribuidores de los sistemas, dispositivos y componentes del RMS en los que se identificaron problemas/inquietudes, como se describió en la respuesta del 17 de septiembre de 2024 tratada arriba.
- **Selección de Pozos de Biogás para la Instalación de Equipos del Sistema de Monitoreo Remoto, elaborada por el Comité de la Reacción, con fecha 15/10/24.** Esta correspondencia presentó la determinación del Comité de la Reacción sobre las ubicaciones para la instalación de los equipos iniciales del RMS, que involucró veinte (20) pozos de LFG a ser equipados con instrumentación de medición de temperatura y equipos de telemetría asociados, conforme a la Condición 66(a)(v). Esta determinación incluyó una revisión de la información de los antecedentes y un análisis sobre los criterios y las condiciones del campo que fueron consideradas por el Comité de la Reacción al seleccionar estos lugares.
- **Respuesta a la Orden de Depuración Estipulada de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur en el Caso No. 6177-4 Condición 66(a)(iv) elaborada por SCS Engineers con fecha 30/10/24.** Esta correspondencia no notó ningún otro hallazgo o solución adicional sobre los problemas documentados en las presentaciones de Condición 66(a)(ii) y (iii) ni presentaciones previas con respecto al diseño original del sistema de monitoreo remoto.
- **Propuesta para evaluar la Viabilidad y la Funcionalidad del Sistema de Monitoreo Remoto Automatizado del Flujo y de la Composición de los Gases en Campo de Pozos de Biogás, elaborada por el Comité de la Reacción con fecha 31/1/25.** Este propuesta presentó el Plan de Obra para realizar una prueba de campo conforme a la Condición No. 66(vi) para evaluar la viabilidad y la funcionalidad, como también la factibilidad, de cierta instrumentación, equipos, telemetría y componentes de control que puedan ser apropiados para un RMS para la medición remota automatizada de la temperatura y la presión dentro de pozos de LFG con bombas ubicadas en la Zona Reactiva. La propuesta no ha sido aprobada por el AQMD de la Costa Sur. Por lo tanto, no se realizó la evaluación de la viabilidad detallada en esa Propuesta.
- **Propuesta para evaluar la Viabilidad y la Funcionalidad del Sistema de Monitoreo Remoto Automatizado para medir el Flujo de Biogás en el Campo de Pozos y la Composición de los Gases, elaborada por el Comité de la Reacción originalmente con fecha 29/8/2025 y revisado el 19/9/2025.** Esta Propuesta presentó el Protocolo de Prueba propuesto para realizar una evaluación de la viabilidad y la funcionalidad, como también la factibilidad de cierta instrumentación, equipos, telemetría y componentes de control que pueden ser apropiados para un RMS de medición remota automatizada del índice de flujo y la composición (metano, dióxido de carbono y oxígeno) del biogás (LFG) dentro de cinco pozos de extracción de LFG selectos entre un subconjunto de pozos identificados en la Condición No. 75 (b) a (c). Esta propuesta fue modificada y se volvió a enviar el 19 de septiembre de 2025 para tratar los comentarios del AQMD de la Costa Sur recibidos el 9 de septiembre de 2025.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PILOTO QUE EVALÚA LA INSTRUMENTACIÓN, LOS EQUIPOS Y LOS CONTROLES DE FLUJO Y DE LA COMPOSICIÓN DE LOS GASES DEL RMS

El Comité de la Reacción propuso evaluar la instrumentación del índice de flujo y de la Composición de los Gases del RMS a través de su estudio de viabilidad piloto, que involucraba la adquisición y la instalación de la instrumentación, los equipos y los controles y otros componentes del RMS al que se hace referencia. Se adquirió la instrumentación que evaluaba el índice de flujo y la composición del LFG y se instaló en los Pozos CV-24066, CV-24076, CV-24088, CV-24126 y CV-24151, que son cinco (5) de los 19 pozos identificados en la Condición No. 75(c) de la SOFA. Los datos compilados durante noviembre de 2025 a marzo de 2026 fueron revisados y analizados como se detalla en el Protocolo de Prueba, para evaluar la viabilidad, la funcionalidad y el rendimiento, como también como evaluación del potencial para la futura implementación de estos componentes.

Como se describe en el Protocolo de Prueba, los objetivos de este estudio de viabilidad piloto fueron:

- Evaluar la viabilidad técnica de la instalación de componentes del RMS que permitan la medición del índice de flujo y la composición del LFG en los pozos:
- Evaluar la viabilidad, la funcionalidad, el desempeño y la confiabilidad de la instrumentación y los equipos del RMS asociados al índice de flujo y la composición del LFG bajo condiciones operativas variables;
- Evaluar y validar mediciones y monitorear los datos recibidos de la instrumentación del RMS;
- Identificar los potenciales criterios para la selección de futuras ubicaciones de pozos a ser equipados con componentes del RMS, si corresponde, y
- Evaluar los protocolos operativos para los componentes del RMS a ser implementados más allá del estudio de viabilidad piloto.

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN Y LA FUNCIONALIDAD DE LOS INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DEL FLUJO Y DE LA COMPOSICIÓN DE LOS GASES DEL RMS

Se seleccionaron e instalaron los siguientes componentes para este estudio de viabilidad, en base a los criterios detallados previamente en la *Propuesta para Evaluar la Viabilidad y la Funcionalidad del Sistema de Monitoreo Remoto Automatizado del Flujo de Biogás en el Campo de Pozos y la Composición de los Gases* del Comité de la Reacción, presentado al AQMD de la Costa Sur el 29 de agosto de 2025 y revisado el 19 de septiembre de 2025. Los componentes de flujo y composición de los gases se incorporaron en forma de ensamble de acero inoxidable fabricado para el sistema piloto, como se muestra en el Apéndice C y en el Apéndice E.

Componente 1 - Medición del Índice de Flujo

Se utilizaron un elemento de flujo de presión delta y un transmisor de presión diferencial asociado para medir y calcular el índice de flujo. El dispositivo mide la presión diferencial en un elemento de flujo con forma de cono en "v" para producir un valor de velocidad que se utiliza, junto al área de la sección transversal del tubo, para calcular el índice de flujo. Se seleccionó el elemento de flujo en cono en "v" ya que proporciona un espacio anular no restringido entre el elemento de flujo y la pared del tubo para que todos los líquidos drenen libremente y al mismo tiempo proporciona la caída de presión necesaria para medir el flujo.

- Mediciones de la presión diferencial del flujo – Dwyer 3100D
 - Transmisor de presión diferencial
 - Colector de transmisor de bloqueo y purga
 - Elemento para el flujo de presión diferencial - Cono en V McCrometer
 - Clasificación de temperatura del proceso = -40 a 257 grados Fahrenheit

Los elementos para medir el flujo se incorporaron en forma de ensamble fabricado para el sistema piloto que se montó directamente a las bridas existentes sobre los elevadores de los pozos revestidos de acero. El dispositivo medidor de flujo es de estilo oblea, montado entre las bridas, y se colocó en una sección que mantenía sus requerimientos de compensación mínima especificados para el flujo arriba (3 diámetros de tubos) y el flujo abajo (1 diámetro de tubo). El transmisor de presión se montó sobre la parte de toma de muestras superior del ensamble, con tuberías de acero inoxidable conectadas al elemento sensor de flujo. La tubería se instaló con drenaje positivo de regreso al elemento sensor de flujo para evitar la acumulación de humedad que podía impactar la medición de la presión delta.

No se encontraron problemas con la instalación de estos componentes de medición de flujo. Como se trata en secciones posteriores de este Informe, los componentes de medición de flujo colocados en los cinco pozos piloto funcionaron razonablemente bien durante todo el tiempo que duró este estudio de viabilidad piloto.

Componente 2 - Medición de la Composición de los Gases

Los dispositivos de medición de la composición de los gases están compuestos por dos sistemas separados: uno para medir metano y dióxido de carbono, que utiliza un sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR) y otro para medir oxígeno, que utiliza un sensor láser de yodo regulable (TDL). Aunque el protocolo de prueba contemplaba el uso de tecnología TDL o NDIR para medir metano y dióxido de carbono, los sensores NDIR fueron los finalmente seleccionados porque se emplean en la instrumentación del campo (específicamente las unidades GEM y Elkins) que fue utilizada por la industria del biogás para monitorear cabezales de pozos de LFG por décadas.

Metano y Dióxido de Carbono:

- Analizadores de varios gases – Vaisala MGP261
 - CH4: 0-100% por volumen
 - CO2: 0-100% por volumen
 - Humedad: 1-100% de humedad relativa
 - Medición in situ
 - Sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR)
 - 4-20 mA y Salida Modbus RTU
 - Entrada de transmisor de presión externo
 - Clasificado como C1D1, Grupo D para ambientes peligrosos
 - Clasificación de temperatura del proceso = -40 a 140 grados Fahrenheit

Oxígeno:

- Sensores de oxígeno – Endress + Hauser TRANSIC121LP
 - O2: 0-25% por volumen

- Medición in situ
- Láser de iodo regulable (TDL) con vía abierta
- Salida de 4-20 mA
- Clasificado como C1D1, Grupo D para ambientes peligrosos
- Clasificación de temperatura del proceso = -4 a 176 grados Fahrenheit

Los sensores de CH₄/CO₂ y O₂ fueron instalados en el ensamble del sistema piloto sobre un tren de muestreo paralelo, como se muestra en el Apéndice E, para minimizar el impacto de líquidos y de altas temperaturas en estos sensores. Montar el sensor de O₂ en el ensamble del tren de toma de muestras demostró ser más difícil de lo esperado, ya que el sensor cuenta con una brida modificada que no se adapta fácilmente a una brida de tubos estándar. La conexión que se configuró en el campo a esta brida modificada proporcionada por el fabricante del sensor dio como resultado problemas por intrusión de aire. Para cualquier futura instalación de estos sensores, ISCO u otro proveedor de tuberías deberá fabricar una brida de acero inoxidable fabricada especialmente para sellar estos dispositivos adecuadamente y restringir la intrusión de aire. Durante el estudio de viabilidad piloto, se adquirieron juntas, anillos tóricos y herramientas de montaje alternativos que se instalaron para ver si se podía mejorar la integridad de esta conexión y reducir el potencial de intrusión de aire.

Ambos sensores, el de CH₄/CO₂ y el de O₂, experimentaron trastornos periódicos en la funcionalidad durante el estudio piloto y continuaron demostrando poca confiabilidad. Ha habido impactos perjudiciales por las condiciones de LFG a las que estuvieron expuestos los sensores, impactos por las conexiones mecánicas y errores internos de los sensores que afectaron su capacidad de proporcionar mediciones confiables. Esto se detalla en las secciones posteriores de este Informe.

Componentes 3 y 4 - Dispositivo IloT Industrial y Tarjetas de Entrada Remota

El dispositivo celular IloT y la tarjeta de entrada remota se utilizan para tomar datos de los transmisores y enviarlos de regreso a la plataforma de Control de Supervisión y Adquisición de Datos en la nube en SCSRMC.com. Los datos se guardan y se cargan automáticamente cada una hora. Si no pueden transferirse los datos en ese momento, se guardan localmente en el dispositivo celular IloT. Cuando se restablece la conexión entre el dispositivo IloT y el servidor, los datos almacenados se cargan automáticamente. El dispositivo celular IloT y la tarjeta de entrada remota utilizados para el estudio piloto son los mismos dispositivos que fueron utilizados con éxito en dispositivos previos en CCL y en otros varios sitios de vertederos.

- Dispositivo IloT – Signal-Fire Ranger
 - Conectividad celular M2M
 - Entradas/salidas integradas
 - Comunicaciones Modbus RTU
 - Opciones a batería/por línea/solares
- Tarjeta de Entrada Remota – Horner Smartmod
 - Entradas análogas integradas
 - Comunicaciones Modbus RTU

Estos dispositivos están incorporados en un panel de monitoreo remoto que está montado sobre el sistema de energía solar contiguo a los pozos de gas y ensambles piloto, como se muestra en el Apéndice E. Los sensores del ensamble piloto se volvieron a cablear hasta la caja para enviar señales y datos al Ranger para su transmisión.

No se encontraron problemas con la instalación de estos componentes IloT y de la tarjeta de entrada remota. Estos dispositivos funcionaron bien durante el estudio de viabilidad piloto, excepto el Piloto 3. El dispositivo IloT del Piloto 3 falló el 13 de marzo de 2026 y no volvió a encender. Se ordenó un dispositivo de reemplazo que será instalado una vez recibido, para volver a poner este sistema en funcionamiento.

Componente 5 - Sistema de Energía Solar

SCS ha diseñado sistemas de energía solar para este proyecto para proporcionar corriente a los sensores y a los dispositivos IloT celulares en cada lugar. El sistema está diseñado para que opere por aproximadamente siete (7) días sin energía solar. Cada sistema contiene una batería reemplazable en el campo de 100 Ah. Los sistemas de energía solar que proporcionan corriente a los sensores y a los dispositivos IloT celulares en cinco ubicaciones de pozos en este proyecto han demostrado tener la capacidad de ofrecer corriente eléctrica confiable y consistente en CCL (y en otros vertederos).

Los sistemas de energía solar se muestran en el Apéndice E - Fueron diseñados para el fácil despliegue y cableado del personal del campo y no se encontraron problemas de instalación durante el despliegue. El sistema funcionó bien durante el estudio de viabilidad piloto y no experimentó eventos de cortes o pérdidas de corriente.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO, LA VIABILIDAD Y LA CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS BAJO CONDICIONES VARIABLES DE LA ZONA REACTIVA

Los documentos de referencia identificados en la Sección de la Introducción de este Informe elevaron problemas e inquietudes asociadas a la viabilidad, la funcionalidad y la factibilidad de la instalación y operación de la instrumentación, los equipos y los controles del RMS en el Vertedero. La inserción de los dispositivos del Componente 1 para medir el índice de flujo en los pozos, como también la transmisión de flujo de gas por los sensores de composición de gas del Componente 2, presentaron potenciales riesgos a corto y a largo plazo, que incluyen, entre otras cuestiones, el potencial mal funcionamiento dentro de los pozos y cabezales y disturbios asociados al mantenimiento del pozo.

Este estudio de viabilidad piloto trató de evaluar los impactos de las condiciones adversas que se experimentan en la instrumentación instalada como parte de esta evaluación en los cinco pozos piloto, donde fuera posible. Las correlaciones y las causas de las fallas en el rendimiento que se atribuían directamente a condiciones adversas (por ejemplo, el calor, la humedad, la formación de sólidos, la incompatibilidad química, etc.) fueron difíciles de identificar debido al alto porcentaje de errores que experimentaron los sensores de la composición de los gases del Componente 2 durante el estudio de viabilidad piloto. El siguiente análisis presenta una evaluación de los impactos de las temperaturas elevadas, las acumulaciones no deseadas de materiales y la acumulación de residuos, los líquidos y la compatibilidad química en la instrumentación.

Componente 1 - Medición del Índice de Flujo

El medidor de flujo se instaló en el segmento de la cañería primaria de 2 pulgadas del ensamble piloto y estaba directamente expuesto al LFG (denominado el "flujo del proceso"). Se seleccionaron los componentes del medidor de flujo, que incluyen la tubería de flujo exterior y el cono en "v" interno, que serían de acero inoxidable 316 por su rendimiento flexible bajo estas condiciones. Se seleccionó el tamaño del cono en "v" de forma que proporcione un espacio granular grande y un rango de medición de flujo de 10 a 90 scfm. Este método de medición de flujo tiene una limitación de relación de reducción de 10:1; por lo tanto, los elementos pueden dimensionarse en base a los requerimientos de flujo individuales en un pozo determinado si se necesita un rango diferente.

Una vez instalado dentro del ensamble del sistema piloto, estos componentes son difíciles de acceder para su inspección periódica o limpieza porque son estructurales con el ensamble completo y requieren que se apoyen las partes se desarme el ensamble piloto para poder extraerlo. Por este motivo se identificó el sensor de gases que exhibió la contaminación más frecuente y mayor de los cinco pozos piloto y se retiró el elemento de medición de flujo para inspeccionarlo y evaluarlo. Se determinó que era el Piloto 2 (Pozo CV-24076) en base a una inspección de los sensores de gas. El pozo CV-24076 se incorporó al límite de la zona reactiva dirigida por datos (consulte "Determinación Mensual del Comité de la Reacción sobre el Límite de la Zona Reactiva", con fecha 10/02/26) y por lo tanto se caracterizó como pozo de temperatura elevada.

- **Potencial de Temperaturas Elevadas:**

Piloto 1 (CV-24126) – temperaturas que variaron de 135 a 188 grados F

Piloto 2 (CV-24076) – temperaturas que variaron de 155 a 181 grados F

Piloto 3 (CV-24151) – temperaturas que variaron de 110 a 119 grados F

Piloto 4 (CV-24088) – temperaturas que variaron de 108 a 125 grados F

Piloto 5 (CV-24066) – temperaturas que variaron de 118 a 129 grados F

Los rangos de temperatura observados en los cinco cabezales de pozos piloto presentados arriba fueron registrados durante el período de estudio piloto (noviembre de 2025 a marzo de 2026) y fueron menores a las calificaciones máximas para estos dispositivos.

- **Acumulación de Incrustaciones y Residuos:**

Como se indicó arriba, solo se retiró para inspección y evaluación el elemento de medición de flujo del Piloto 2. Las fotos del medidor que se retiró que muestran el tubo del flujo y el elemento montado en forma de cono en "v" se muestran en el Apéndice D. Hubo un notable residuo seco negro delgado en las superficies internas. No hubo espesores importantes en el residuo y el espacio anular no fue obstruido por este residuo.

En general, el medidor de flujo parecía estar funcionando como estaba previsto para este ambiente, para este período de tiempo limitado. El espacio anular más grande no restringido entre la tubería de flujo y el elemento minimizó la contaminación y la acumulación. El recubrimiento de residuo que se observó probablemente aumentará su espesor con el tiempo y probablemente requerirá un mantenimiento de rutina programado.

- **Líquidos:**

Como se indicó arriba, solo se retiró para inspección y evaluación el elemento de medición de flujo del Piloto 2. Hubo una sección muy pequeña en la parte de atrás del elemento medidor de flujo que parecía ser líquido que se combinaba con el residuo negro observado, que se espesó formando una resina, como se muestra en las fotografías presentadas en el Apéndice D. Este pequeño parche de resina observado durante este período de tiempo limitado no parecía restringir el espacio anular en el medidor de flujo y probablemente tuvo un efecto en las mediciones de flujo que no merecen ser tenidos en cuenta.

- **Compatibilidad Química:**

Como se indicó arriba, solo se retiró para inspección y evaluación el elemento de medición de flujo del Piloto 2. No parecía haber ningún efecto adverso relacionado con los productos químicos compatibles, en forma de

picadura, corrosión o deterioro de las superficies internas de acero inoxidable 316 durante este período de tiempo.

En general, los medidores de flujo funcionaron correctamente durante todo el tiempo que duró el estudio piloto y han proporcionado mediciones consistentes que el Comité de la Reacción cree que son precisas. Estos instrumentos no han requerido demasiada limpieza o mantenimientos de rutina anormalmente frecuentes para mantener la funcionalidad durante el tiempo que duró el período del estudio, que es una ventaja ya que son laboriosos y difíciles de eliminar del ensamble del sistema piloto.

Componente 2 - Medición de la Composición de los Gases

Como se indicó arriba, las correlaciones y las causas de las fallas en el rendimiento experimentadas por los sensores de la composición de los gases del Componente 2 que se atribuían directamente a condiciones adversas fueron difíciles de identificar debido a la frecuente ocurrencia y a la duración extendida de los errores notados durante el estudio de viabilidad piloto.

Los sensores de CH₄/CO₂ y O₂ estaban ubicados en un tren de muestreo paralelo, como se muestra en el Apéndice E, para minimizar el impacto de líquidos y de altas temperaturas en estos sensores.

- **Temperaturas Elevadas:**

Las temperaturas que se muestran arriba se midieron en la parte de arriba del revestimiento del pozo y podrán no representar temperaturas a las que estarían expuestos los sensores colocados dentro del ensamble del sistema piloto. Las clasificaciones de temperatura máxima de los sensores de CH₄/CO₂ y O₂ son de 140 grados F y 176 grados F, respectivamente.

El Piloto 1 y el Piloto 2 tenían el potencial de quedar expuestos a temperaturas por encima de las clasificaciones de temperatura para ambos dispositivos sensores mientras que el resto de los pilotos estuvieron muy por debajo de las clasificaciones. Las imágenes de los mantenimientos de las sondas de los sensores de la composición de los gases están incluidas en el Apéndice D. El Piloto 1 no parece mostrar ningún efecto físico negativo por las temperaturas elevadas. El Piloto 2 sí tuvo manchas oscuras importantes en los filtros de PTFE y en las superficies del acero inoxidable. Es difícil llegar a la conclusión sobre si la descoloración oscura se atribuía a temperaturas elevadas o a compatibilidad química.

El impacto de las temperaturas elevadas en los datos tomados del RMS no puede determinarse en este momento debido al alto porcentaje de errores de diagnóstico del sensor que se observaron durante las pruebas. Sin embargo, es razonable esperar que el desempeño, la confiabilidad y la precisión de los sensores puedan verse reducidos potencialmente por la exposición a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo extendidos.

- **Acumulación de Incrustaciones y Residuos:**

En el Apéndice D se proporcionan fotos de los mantenimientos, tomadas durante el período del estudio piloto, para cada uno de los sensores de las composiciones de los gases ubicados en los pozos piloto.

Piloto 1 (CV-24126):

- Sensor de CH₄/CO₂ - impacto mínimo de contaminación o residuos
- Sensor de O₂ - impacto mínimo de contaminación o residuos

Piloto 2 (CV-24076):

- Sensor de CH₄/CO₂ - mostró un descoloramiento importante que manchó la estructura de acero inoxidable y el filtro de PTFE; la óptica estaba descolorida
- Sensor de O₂ - mostró una importante descoloración que manchó el filtro de acero inoxidable y el filtro de PTFE; se observaron sólidos también en el filtro inoxidable; la óptica estaba descolorida

Piloto 3 (CV-24151):

- Sensor de CH₄/CO₂ - se debe tener en cuenta que no estaba instalado el filtro de PTFE en este sensor mientras estaba en funcionamiento; hubo algo de residuo menor en la punta del sensor que se observó alrededor de la óptica; la óptica estaba levemente descolorida
- Sensor de O₂ - no se observaron residuos ni formación de sarro en el filtro de PTFE; no se observó sarro en el filtro inoxidable; la óptica no estaba descolorida

Piloto 4 (CV-24088):

- Sensor de CH₄/CO₂ - el filtro de PTFE tenía bastante sarro blanco/amarillo en la parte interior y exterior del elemento del filtro; se notó algo de descoloración y una película en la óptica
- Sensor de O₂ - el filtro de PTFE tenía un sarro amarillo en la parte de afuera del elemento del filtro con algo de descoloración negra leve; se notó descoloración negra leve en el filtro inoxidable y en la estructura del sensor y algo de descoloración en la óptica

Piloto 5 (CV-24066):

- Sensor de CH₄/CO₂ - el filtro de PTFE tenía bastante sarro blanco en la parte exterior del elemento del filtro; no se notaron residuos ni formación de sarro en la estructura inoxidable;
- Sensor de O₂ - el filtro de PTFE tenía bastante sarro blanco en la parte exterior del elemento del filtro; no se notaron residuos ni formación de sarro en la estructura inoxidable; se notaron algunos particulados en la óptica

En general, el ensamble de toma de muestras paralelo parecía limitar la exposición de los sensores a los sólidos suspendidos que pudieron haber estado en los flujos del proceso. Se notó algo de formación de sarro en varios filtros de PTFE y una importante acumulación de sólidos en el Piloto 2. Es razonable esperar que el rendimiento, la confiabilidad y la precisión del sensor del Piloto 2 puedan verse potencialmente disminuidos por la extensión de la formación de sarro y la contaminación que ocurrió durante el estudio de viabilidad piloto.

• **Líquidos:**

Piloto 1 (CV-24126):

- no se observaron líquidos en ningún sensor

Piloto 2 (CV-24076):

- no se observaron líquidos en ningún sensor

Piloto 3 (CV-24151):

- hubo notables manchas de gotas de agua en la estructura del sensor de CH₄/CO₂; se observaron gotas de líquido en la parte de adentro del filtro de PTFE de O₂, en el filtro inoxidable y en la óptica

Piloto 4 (CV-24088):

- había una notable cantidad de líquido en ambos filtros de los sensores de CH₄/CO₂ y O₂ y en las ópticas; se notó que goteaba líquido de la brida de montaje de O₂ y la óptica de O₂ parecía estar parcialmente sumergida en líquido; el montaje del sensor de O₂ se modificó para ayudar a mitigar la acumulación de líquido en el sensor como prueba. El sensor de O₂ pareció funcionar mejor después de esta modificación como se describe en la sección de validación de datos a continuación y como se muestra en el Apéndice A.

Piloto 5 (CV-24066):

- no se observaron líquidos en ningún sensor

Se identificó una notable cantidad de líquido en 2 de los 5 pozos piloto. Las temperaturas elevadas en el Piloto 1 y el Piloto 2 pudieron haber minimizado la formación de condensación. Se observó una notable cantidad de humedad en el Piloto 3 y en el Piloto 4. El impacto de la humedad en los datos tomados del RMS no puede determinarse en este momento debido al alto porcentaje de errores de diagnóstico del sensor que se observaron durante las pruebas. Sin embargo, es razonable esperar que el rendimiento, la confiabilidad y la precisión de los sensores del Piloto 3 y el Piloto 4 puedan haberse reducido potencialmente por la exposición a ambientes de mucha humedad. Debido a la naturaleza sensible de los instrumentos, las obstrucciones en las ópticas de los sensores pudieron haber impactado potencialmente la precisión y la confiabilidad de la medición.

- **Compatibilidad Química:**

Piloto 1 (CV-24126):

- no se observaron impactos notables por la compatibilidad química observada en los sensores

Piloto 2 (CV-24076):

- hubo un importante descoloramiento que manchó las estructurasinoxidables y los filtros de PTFE; no parecía haber picaduras ni degradación de estos materiales, más allá de la contaminación y los residuos observados

Piloto 3 (CV-24151):

- no se observaron impactos notables por la compatibilidad química observada en los sensores

Piloto 4 (CV-24088):

- no se observaron impactos notables por la compatibilidad química observada en los sensores

Piloto 5 (CV-24066):

- no se observaron impactos notables por la compatibilidad química observada en los sensores

Los componentes internos de los sensores que estuvieron en contacto con el proceso incluyen acero inoxidable Tipo 316, PTFE y vidrio (ópticas y cobertores de los sensores). En general, no parecía haber un impacto en estos materiales por los constituyentes del biogás, excepto en el Piloto 2. Es difícil determinar si los impactos notados en el Piloto 2 estaban asociados a compatibilidad química, a temperaturas elevadas, a sólidos o a una combinación de estos factores.

VALIDACIÓN DE LOS DATOS RECIBIDOS DEL RMS

Después de la instalación de los componentes de los pilotos del RMS, se tomaron datos utilizando dispositivos celulares IloT en intervalos de 1 hora que estuvieron disponibles para su monitoreo remoto y registro de datos durante el estudio. Estos datos incluyeron los parámetros operativos medidos (composición de los gases, índice de flujo, temperatura del proceso y vacío/presión del proceso), diagnóstico del sensor y estado de comunicación del componente. Estos datos después se compararon para reunir manualmente las mediciones obtenidas utilizando instrumentaciones portátiles en el campo en las ubicaciones de los pozos piloto, para validar los datos tomados del RMS.

Lo que se esperaba cuando se inició el estudio era monitorear estos puntos semanalmente para validar los datos del RMS; sin embargo, debido a la mayor cantidad de errores de diagnóstico observada con estos equipos, el enfoque pasó a resolver problemas de los componentes de la composición de los gases, para tratar y mejorar la funcionalidad. Se utilizó un analizador de gases portátil de mano, por ejemplo, un GEM-5000, para tomar datos en cada una de las ubicaciones piloto del RMS semanalmente (Pilotos 1 y 2) o cada dos semanas (Pilotos 3-5) para los trabajos de validación de datos. Las siguientes secciones incluyen un análisis de validación de datos y los resultados de la composición de los gases y los componentes del índice de flujo.

Medición de la Composición de los Gases

Los datos tomados por el RMS de la composición de los gases fueron difíciles de validar debido a la frecuente ocurrencia y a la duración extendida de los errores de los sensores que se observaron durante las pruebas. Además, cuando no había banderas de errores presentes, generalmente había un alto grado de varianza entre las mediciones manuales de GEM y los valores de las composiciones de los sensores del RMS. Hubo varias instancias en las que datos seleccionados del RMS sin designación de errores estuvieron relacionadas con los tiempos generales de las mediciones manuales de GEM, para proporcionar algún comparativo; sin embargo, fue muy limitado y dio como resultado un porcentaje de lecturas comparables muy bajo.

Los datos del RMS de 1 hora inicialmente se filtraron en valores de mediciones sin banderas de errores y los resultados filtrados se compararon con las lecturas manuales del GEM. En la Figura 1 se proporciona un resumen de los errores marcados y del resto de las lecturas válidas.

Figura 1. Resumen de Errores de los Sensores

Ubicación	Estado de Comunicación	O2 Estado del Sensor	CH4 Estado del Sensor	CO2 Estado del Sensor	CH/CO2 Estado del Analizador	Ningún Error de ningún Sensor
Piloto 1 (CV-24126)						
Total de Mediciones:	3429	3429	3429	3429	3429	3429
Mediciones Confiables:	3425	3332	2656	2825	2740	2548
Porcentaje de Confiabilidad:	100%	97%	77%	82%	80%	74%
Piloto 2 (CV-24076)						
Total de Mediciones:	3429	3429	3429	3429	3429	3429
Mediciones Confiables:	3032	2254	535	534	493	447
Porcentaje de Confiabilidad:	88%	66%	16%	16%	14%	13%
Piloto 3 (CV-24151)						
Total de Mediciones:	3177	3177	3177	3177	3177	3177

Mediciones Confiables:	3167	1671	1645	1645	1670	737
Porcentaje de Confiabilidad:	100%	53%	52%	52%	53%	23%
Piloto 4 (CV-24088)						
Total de Mediciones:	3429	3437	3437	3437	3437	3437
Mediciones Confiables:	3260	2013	404	401	443	371
Porcentaje de Confiabilidad:	95%	59%	12%	12%	13%	11%
Piloto 5 (CV-24066)						
Total de Mediciones:	3429	3438	3438	3438	3438	3438
Mediciones Confiables:	3411	483	161	161	168	91
Porcentaje de Confiabilidad:	99%	14%	5%	5%	5%	3%

Piloto 1 (CV-24126)

El comparativo de datos manual del GEM versus los valores de las composiciones de los gases del RMS automatizados se proporcionan en el Apéndice A - Datos del Piloto 1.

- **Oxígeno** - El Piloto 1 no tuvo muchos errores en el sensor de O₂; sin embargo, las mediciones registradas exhibieron valores que probablemente se vieron influenciados por la intrusión de aire ambiental alrededor de la brida del sensor durante gran parte del estudio. Hubo una relación inversa entre O₂ y el vacío medido del pozo observado durante dos eventos, que se muestran en el Apéndice B - Anexo 1, donde la presión del pozo pasó positiva y se redujo el valor de O₂. Esto podría ser un indicativo de intrusión de aire en el ensamble de tomas de muestras o un flujo limitado o una vía de flujo restringida hacia el ensamble de tomas de muestras bajo condiciones de vacío.
- **Metano / Dióxido de Carbono** - El Piloto 1 tuvo la menor cantidad de errores de los sensores de CH₄/CO₂, comparado con los otros pozos piloto. Similar al sensor de O₂, estos sensores parecieron responder a uno de los eventos de presión positiva que se muestran en el Apéndice B - Anexo 1. Hubo errores en los sensores de CH₄/CO₂ durante el segundo evento de presión positiva observado y las concentraciones no cambiaron.

Piloto 2 (CV-24076)

El comparativo de datos manual del GEM versus los valores de las composiciones de los gases del RMS automatizados se proporcionan en el Apéndice A - Datos del Piloto 2.

- **Oxígeno** - El sensor de O₂ en el Piloto 2 registró un error el 33% de las veces y exhibió concentraciones elevadas del 16% al 20% cuando no hubo errores presentes en el sensor. Los datos del GEM demostraron consistentemente valores de concentración de O₂ más bajos del 0% al 3% en los mismos períodos de tiempo. No se observaron eventos de presión positiva durante el período de prueba para evaluar si cambió la concentración bajo condiciones de presión positiva en base a los datos que se muestran en el Apéndice B - Anexo 2. El sensor de O₂ hizo sonar la alarma aproximadamente el 5 de enero de 2026 y la alarma paró después de haber realizado el servicio de mantenimiento de la unidad el 19 de marzo de 2026. El sensor regresó a un estado de error el 25 de marzo de 2026, solo seis (6) días después de que se le realizó el mantenimiento. Se observó que este sensor

había sido gravemente impactado por el LFG con descoloración, acumulación de sólidos y líquidos presentes, cuando se lo inspeccionó. Este es un pozo de temperaturas elevadas.

- **Metano / Dióxido de Carbono** - El Piloto 2 tuvo errores en el sensor de CH₄/CO₂ el 86% del tiempo durante el estudio. Los valores registrados no se alinean con las mediciones manuales del GEM. Este sensor también se vio gravemente impactado por la exposición al LFG similar al sensor de O₂.

Piloto 3 (CV-24151)

El comparativo de datos manual del GEM versus los valores de las composiciones de los gases del RMS automatizados se proporcionan en el Apéndice A - Datos del Piloto 3. El Piloto 3 dejó de registrar mediciones cerca del 13 de marzo cuando funcionó mal el IIoT celular y no encendía.

- **Oxígeno** - El sensor de O₂ en el Piloto 3 registró un error el 47% del tiempo y tuvo resultados positivos después de que se le realizó el servicio de mantenimiento al sensor el 20 de enero de 2026, como se muestra en el Apéndice B - Anexo 3. Los valores de O₂ más bajos registrados después de que se le realizó el servicio de mantenimiento a la unidad estuvieron entre un 0.2 % y un 1.17 %, comparado con las lecturas del GEM que estuvieron todas en un 0% (sin detecciones).
- **Metano / Dióxido de Carbono** - El Piloto 3 tuvo errores en el sensor de CH₄/CO₂ el 47% del tiempo durante el estudio. El sensor parecía funcionar correctamente sin errores y con concentraciones razonables durante 5 de las lecturas del GEM comparativas entre el 13 de noviembre de 2025 y el 6 de enero de 2026. En o cerca del 6 de enero de 2026, el sensor no registró un valor medido (que no sea "0.0") e ingresó en un estado de error "falla del sensor". Mientras que el error de falla del sensor se resolvió después de haber hecho el servicio de mantenimiento el 6 de febrero de 2026, el sensor no registró un valor medido (que no sea "0.0"), indicando que continuaba no siendo funcional. Durante el período entre el 6 de febrero y el 13 de marzo de 2026, el sensor activó de forma intermitente el estado de error de falla del sensor, pero continuó registrando el valor de concentración medido por defecto de "0.0" para ambos constituyentes. El 13 de marzo de 2026 falló el dispositivo IIoT y dejaron de registrarse el valor medido de la concentración y el estado de error.

Piloto 4 (CV-24088)

El comparativo de datos manual del GEM versus los valores de las composiciones de los gases del RMS automatizados se proporcionan en el Apéndice A - Datos del Piloto 4.

- **Oxígeno** - El sensor de O₂ en el Piloto 4 registró un error el 41% del tiempo y tuvo resultados positivos después de que se le realizó el servicio de mantenimiento al sensor el 20 de enero de 2026, como se muestra en el Apéndice B - Anexo 4. Los valores de O₂ más bajos registrados después de que se le realizó el servicio de mantenimiento a la unidad estuvieron entre un -0.13 % y un 0.16%, comparado con las lecturas del GEM que estuvieron todas en un 0% (sin detecciones) durante el mismo período.
- **Metano / Dióxido de Carbono** - El Piloto 4 tuvo errores en el sensor de CH₄/CO₂ el 87% del tiempo durante el estudio y no ha estado funcionando correctamente hasta que se le realizó el servicio de mantenimiento recientemente en marzo. La unidad ha estado informando lo que parecen ser datos confiables y precisos sin errores conocidos desde el 19 de marzo de 2026.

Piloto 5 (CV-24066)

El comparativo de datos manual del GEM versus los valores de las composiciones de los gases del RMS automatizados se proporcionan en el Apéndice A - Datos del Piloto 5.

- **Oxígeno** - El sensor de O₂ en el Piloto 5 registró un error el 86% del tiempo y no ha mostrado mejoras con el servicio de limpieza del sensor.
- **Metano / Dióxido de Carbono** - El Piloto 5 registró errores en el sensor de CH₄/CO₂ el 95% del tiempo durante el estudio y no ha estado funcionando correctamente hasta que se le realizó el servicio de mantenimiento recientemente el 25 de marzo de 2026. La unidad informó lecturas razonables por solo cinco (5) días y volvió a un estado de error.

Medición del Flujo

La medición del flujo utilizando presión diferencial (DP) ha sido un método exitoso en aplicaciones de biogás en la industria cuando se instituye en circunstancias apropiadas. Se utilizaron las mediciones de DP tomadas por el sistema RMS para calcular índices de flujo utilizando las curvas de datos del fabricante para los elementos de cono en "v" seleccionados. La DP registrada y los valores calculados del flujo han demostrado ser estables (esto significa consistentes y considerados confiables y generalmente precisos) durante el período de prueba y no parecen verse afectados negativamente por condensación o líquidos que pueda haber presentes en el ensamble del sistema piloto. Se seleccionó el elemento en forma de cono en "v" por este motivo, para proporcionar un espacio anular no restringido alrededor del elemento de medición de flujo y la tubería, para que los líquidos puedan pasar.

Se realizaron una prueba demostrativa y un comparativo de los valores de los índices de flujo al terminar el período del estudio de viabilidad piloto entre los transmisores de DP y un manómetro manual que exhibió entre poca y nada de diferencia, en mediciones de DP comparadas. Esto sugiere que los transmisores de DP eran precisos y no se desviaron durante el período del estudio.

Figura 2. Comparativo de Lecturas de DP Manuales

Ubicación	Fecha	Entrada del manómetro (en columna de agua)	Salida del manómetro (en columna de agua)	Manómetro Delta (en columna de agua)	Sensor de DP (en columna de agua)	Manómetro vs. DP (en columna de agua)
GP-1 (CV-24126)	24/03/2026	-9.6	-10	0.4	0.5	-0.1
GP-2 (CV-24076)	24/03/2026	-1.9	-7	5.1	5.2	-0.1
GP-3 (CV-24151)	24/03/2026	-3	-3.1	0.1	0	0.1
GP-4 (CV-24088)	24/03/2026	-1.8	-2.1	0.3	0.3	0
GP-5 (CV-24066)	24/03/2026	-1.7	-2.4	0.7	0.7	0

INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LOS COMPONENTES

Se inspeccionaron los componentes de la composición de los gases en varios momentos durante el período del estudio, para tratar problemas. La siguiente es una cronología de los problemas y los trabajos de soporte en el campo relacionados con la inspección de los componentes y otros errores detectados.

7/11/20

- SCS se puso en contacto con el proveedor Vaisala para obtener un cable de programación, debido a todos los datos erróneos que se estaban registrando.
- Hubo un problema de comunicación con los sensores que requirieron que el software del proveedor trate el problema.

13/11/2025

- Se retiraron de servicio los analizadores del Piloto 4 para evaluar el problema del sensor de O2.
- El visor de O2 exhibió el error E-31 dando como resultado un valor alto del 26% en el O2 registrado en la plataforma de la base de datos electrónica.
- SCS se puso en contacto con soporte técnico y recibió instrucciones y compró elementos para limpiar las ópticas de O2 con cuidado.
- Se observó que el filtro del sensor estaba saturado con condensado y había líquidos atrapados debajo del filtro del sensor que impactaban las ópticas.

20/11/2025

- Se limpió el sensor de O2 del Piloto 4 y regresó al servicio, se quitó el error y la medición estuvo cerca de cero.
- El error regresó en menos de 24 horas.

20/1/26

- Se cambiaron las juntas del Piloto 4 y se modificó el colector con un codo a 45 grados para que el sensor de O2 pueda drenar líquido y sacarlo de las ópticas. Esto solo se completó en el Piloto 4 para evaluar la efectividad antes de modificar otros lugares.
- Se quitó el error del sensor de O2 del Piloto 4 y estuvo funcional por un período de tiempo más largo, aproximadamente del 21/1 al 18/3 sin lecturas elevadas o erróneas.

6/2/26

- Se tomaron los códigos de error de todos los analizadores de CH4/CO2 en el campo.
- Se ajustaron los parámetros de las comunicaciones de los analizadores, para mejorar las comunicaciones.
- No se quitaron los códigos de error que se creía que estaban relacionados con las comunicaciones después de un par de semanas de operación, por lo tanto, nos pusimos en contacto con el fabricante para recibir más ayuda para resolver el problema.

24/2/26

- Nos reunimos con el proveedor Vaisala para resolver los problemas con los códigos de error y enviamos la información de los errores para una mayor evaluación y para recibir sus recomendaciones.

11/03/2

- Vaisala proporcionó soporte limitado por e-mail y dijo que los códigos de error sugerían problemas con los sensores y el proceso y recomendó limpiarlos para ver si se iban los códigos de error.

17/3/26 al 20/3/26

- Se limpiaron todos los analizadores de O₂ y CH₄ en el campo y volvieron a ponerse en servicio.
- El Piloto 2, el Piloto 4 y el Piloto 5 volvieron a ponerse en servicio sin errores después de limpiar y cambiar las juntas.
- El Piloto 2 y el Piloto 5 continuaron exhibiendo condiciones de temperatura ambiente que requieren la resolución de otros problemas.
- El Piloto 4 parecía estar rindiendo razonablemente bien desde que se le realizó el servicio de mantenimiento.
- El dispositivo IloT en el Piloto 3 dejó de comunicar el 13/3/26. Se encontró apagado el dispositivo IloT y no volvió a encender. SCS verificó el voltaje que llegaba a la unidad, probó una fuente de corriente diferente y aun así la unidad no encendía. Se ordenó un reemplazo del dispositivo IloT para cambiar el componente que estaba fallando.

26/3

- Se inspeccionó el Piloto 2 y se encontró una fuga en el montaje de la brida de HDPE del sensor de O₂. Se reparó la brida y el valor de O₂ cayó a los valores esperados.
- Se quitó el elemento de flujo del cono en "v" del Piloto 2 para inspeccionar si había acumulaciones o impactos del LFG. Se seleccionó este pozo porque es un pozo de temperatura elevada que demostró la mayor degradación en los componentes del analizador expuesto al ser inspeccionado y al realizarse el servicio de mantenimiento. SCS no quitó los elementos de flujo del cono en "v" de los otros lugares ya que esto requiere un importante esfuerzo para quitarlos mecánicamente y volver a instalarlos.
- Se modificó el ensamble de toma de muestras del Piloto 2 para agregar una T de 2" y un puerto de toma de muestras, para que pueda obtenerse una muestra con el GEM en el ensamble superior, para medir el gas real al que estaba expuesto el sensor del analizador. Antes de esto, se compararon las mediciones del analizador con los valores obtenidos del puerto del cabezal del pozo.

26/3

- Se instalaron las otras Ts de toma de muestras en los Pilotos 1, 3, 4 y 5.
- Se inspeccionaron y se volvieron a colocar las juntas y los aros tóricos de los sensores de O₂ de los Pilotos 1, 2 y 5 y se inspeccionó la brida de HDPE, que se volvió a sellar para tratar de minimizar la intrusión de aire en el ensamble de toma de muestras.

EVALUACIÓN DE LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DEL RMS

Con el propósito de evaluar potenciales acciones que involucran el despliegue de componentes del RMS como parte de cualquier futura implementación del RMS en el Vertedero de Chiquita Canyon, el Comité de la Reacción consideró los resultados del estudio y ponderó las siguientes consideraciones relacionadas con la factibilidad, la funcionalidad y la viabilidad:

- **Factibilidad y Funcionalidad:**

- ¿Los resultados de este estudio piloto demuestran que la instrumentación, los sensores y los equipos asociados seleccionados demostraron ser confiables y mantuvieron un alto nivel de funcionalidad (es decir, baja frecuencia y duración de errores y períodos de inactividad)?
- ¿Las mediciones registradas fueron consideradas exactas y precisas?
- ¿Las técnicas empleadas para configurar el ensamble del sistema piloto, las posición de los sensores y dispositivos y la conexión al pozo y la tubería lateral demuestran que este tipo de RMS puede ser utilizado sin problemas en los pozos piloto?
- ¿El personal puede lograr realizar las operaciones apropiadas, el mantenimiento y las actividades de monitoreo?
- ¿Es viable el ciclo de mantenimiento intensivo en una mayor cantidad de cabezales de pozos?

- **Viabilidad:**

- ¿Los resultados de este estudio piloto demuestran que la instrumentación, los sensores y los equipos asociados seleccionados son beneficiosos y útiles para gestionar la infraestructura del sistema de recolección de biogás?
- ¿El RMS ofreció acceso rápido a los parámetros operativos que permiten que se tomen decisiones críticas?
- ¿El estudio piloto demostró que los trabajos de O&M de rutina y que no son de rutina pueden restringirse para ofrecer trabajos personalizados, seleccionados y "orientados a un servicio de conserje" para activos con dificultades, de esta manera siendo más eficientes y efectivos?
- ¿El RMS ofreció un avance importante en automatización que haya dado como resultado menos riesgos desde la perspectiva de salud humana y seguridad?

Con respecto al Componente 1 - Medición del Índice de Flujo, el estudio piloto demostró una factibilidad y una viabilidad excelentes. Los medidores de flujo en los cinco pozos piloto continuaron siendo funcionales, confiables y se consideró que proporcionan valores precisos razonables y tuvieron una buena correlación durante los esfuerzos de validación de datos. Son algo difíciles y laboriosos al realizarles el servicio de mantenimiento y limpieza, pero algunos cambios menores en las conexiones de las bridas probablemente resolverían este problema y permitirían que se les realice el servicio de mantenimiento más fácilmente cuando se instalan de forma independiente. Es algo reconocido que "falta" algún flujo mínimo que viaja por la bifurcación superior del ensamble del piloto en el medidor de flujo.

Además, la introducción de un medidor de flujo ofreció valor a la gestión integral del campo de pozos y permitió que se puedan resolver problemas de O&M orientados. El beneficio y la utilidad de los datos obtenidos del medidor del flujo, que es la base para demostrar la viabilidad, se demuestra suficientemente durante el estudio. El acceso a datos en tiempo real sobre hasta dónde los pozos estaban "fluyendo gas" ofreció un valor para gestionar la infraestructura del sistema de recolección de biogás y permitió que se tomaran decisiones muy importantes. La extracción de LFG, al margen de las concentraciones o de la temperatura en una región de ETLF, es imperativa; por lo tanto, los esfuerzos de O&M fueron más eficientes y efectivos porque estaban dirigidos a pozos de poco flujo. Además, el elemento de medición del índice de flujo del RMS dio como resultado un menor

riesgo desde la perspectiva de salud humana y seguridad, porque los técnicos del campo no necesitaron acercarse y monitorear físicamente cada pozo piloto para identificar qué pozos estaban siendo impactados por condiciones de poco flujo.

Con respecto al Componente 2 - Medición de la Composición de los Gases, el estudio piloto demostró poca factibilidad y funcionalidad y solo una viabilidad marginal, como se describe en mayor detalle arriba. Los sensores que miden la composición de los gases utilizaban una disposición "in-situ" que es sustancialmente diferente a los productos LoCI o Apis utilizados en otros vertederos, ya que las mediciones de la composición en los pozos piloto se están obteniendo en el LFG crudo en un entorno "incondicionado" y no la otra técnica que involucra extraer y acondicionar un flujo de muestreos. Esta disposición in-situ fue necesaria para que los sensores estén intrínsecamente seguros en el ambiente en el que se instalaban, mientras que los productos LoCI y Apis no cumplen con las mismas clasificaciones. El estudio piloto demostró que estos sensores generalmente no se mantuvieron funcionales por períodos de tiempo extendidos, por lo tanto, hubo poca confiabilidad de los datos debido a los frecuentes errores. Los sensores generalmente no registraron valores que se creían que eran precisos y generalmente tuvieron una mala correlación durante los esfuerzos de validación de datos (excepto por breves períodos en el Piloto 3 y en el Piloto 4). Esto podría atribuirse en parte a circunstancias de intrusión de aire mientras estaban bajo vacío. Se encontraron temperaturas elevadas por encima de las clasificaciones de temperatura máxima y varios tipos de incrustaciones y acumulación de residuos crearon un problema con la precisión de los elementos ópticos. Los líquidos fueron algo problemáticos, pero menos de lo esperado. Hubo pocos o ningún problema documentado con la compatibilidad química.

Durante el estudio de factibilidad piloto, pasamos mucho tiempo y realizamos mucho esfuerzo para observar los dispositivos del sensor y reunir información para proporcionarles información a los proveedores sobre los errores y para evaluar opciones y así modificar los ensambles de toma de muestras, para minimizar la intrusión de aire y drenar los líquidos. Se identificó un aparente problema de comunicación con los sensores de CH₄/CO₂ que afectaron los datos. Una vez resuelto eso, se reconoció que había múltiples condiciones de errores en cada sensor y el personal de SCS continuó trabajando con el fabricante para resolver los problemas; sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, la confiabilidad fue relativamente baja durante todo el período del estudio.


No se demostró el beneficio o la utilidad de los datos que se obtuvieron de los sensores de medición de gas cuando funcionaban, que es la base para demostrar la viabilidad durante el estudio. El acceso a concentraciones de gas en tiempo real no pareció ofrecer valor para gestionar la infraestructura del sistema de recolección de biogás y no permitió que se puedan tomar decisiones rápidas importantes. Se sabe que los constituyentes de los gases en una región de ETLF son atípicos y el gas de la reacción es considerado de "mala calidad"; por lo tanto, los esfuerzos de O&M no fueron más eficientes y efectivos. Además, el elemento que mide la composición del gas del RMS no necesariamente dio como resultado menos riesgos desde una perspectiva de la salud humana y la seguridad.

En base a este estudio piloto, las mediciones en tiempo real de la composición del biogás crudo en Chiquita no parecen ser viables en este momento.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD PILOTO

Este estudio de viabilidad piloto se realizó en un subconjunto de pozos durante un período de tiempo limitado y por lo tanto no necesariamente es un indicativo del futuro desempeño o la probabilidad de que continúen las condiciones operativas de los componentes del RMS que se está evaluando. Chiquita también debería considerar la instalación de estos medidores de flujo en pozos seleccionados en una proximidad cercana al límite de la Zona Reactiva dirigida por datos que son considerados esenciales para mantener la extracción de LFG en índices suficientes como para mitigar las condiciones de ETLF y controlar las emisiones fugitivas. Chiquita no debería considerar ninguna instalación adicional de sensores que midan la composición de los gases por los motivos descritos arriba, pero debería continuar sus esfuerzos para mejorar y operar los sensores existentes en los cinco pozos piloto, para evaluar si pueden mejorarse la factibilidad, la funcionalidad y la viabilidad.

Por favor, comuníquese con el firmante si tiene preguntas o si necesita más información. Atentamente,



Robert E. Dick, PE, BCEE
Vicepresidente Senior
SCS Engineers



Patrick S. Sullivan, BCES, CCP
Vicepresidente Senior
SCS Engineers

cc: Baitong Chen, AQMD de la Costa Sur
Christina Ojeda, AQMD de la Costa Sur
Pablo Sánchez Soria, PhD, CIH, CTEH
Neal Bolton, PE, Blue Ridge Services, Inc.
Richard Pleus, PhD, Intertox
Srividhya Viswanathan, PE, SCS Engineers
Kevin Green, Vertedero de Chiquita Canyon
Dylan Smith, Chiquita Canyon