Código de identificación: IFF-25164

INFORME FINAL

EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOFERICAS GENERADAS POR LA CALDERA ACUOPIROTUBULAR DE 350 BHP DE LA EMPRESA CORRUGADOS DE RISARALDA S.A.S.
CALLE 9 # 3T-67 BODEGA 2 SECTOR LA BADEA, DOSQUEBRADAS – RISARALDA

CORRUGADOS DE RISARALDA

¡somos más que un buen empaque!



Registro fotográfico del muestreo isocinético GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S (estudio actual).

(Página en blanco intencionalmente)

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1 RESUMEN EJECUTIVO 4
2 INTRODUCCIÓN 7
3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 9
3.1 OBJETIVO GENERAL 9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9
4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y EL SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES 10
4.1 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS 11
4.2 CONDICIONES DE MUESTREO 13
5 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE MEDICIÓN 14
5.1 INFORMACIÓN GENERAL DE GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S 14
5.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN 15
5.2.1 Descripción de los equipos 15
5.2.2 MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS 18
5.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS: PROCEDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA 26
6 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD 30
7 EQUIPOS DE CALIBRACIÓN EXTERNA Y VERIFICACIÓN EN EL LABORATORIO 31
8 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 33
9 VALIDACIÓN DE DATOS Y LISTA DE CHEQUEO 36
10 AUDITORIA DE LA MEDICIÓN 36
11 REPORTE DE ERRORES 36
12 ANÁLISIS DE RESULTADOS 37
13 REPORTE PARA REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL (RUA) 40
14 CONCLUSIONES 41
15 REFERENCIAS 42

ANEXOS

Anexo 01. Formatos de campo *(carpeta anexos)*
Anexo 02. Certificados de calibración *(carpeta anexos)*
Anexo 03. Hojas de cálculo *(carpeta anexos)*
Anexo 04. Reportes de laboratorio *(carpeta anexos)*
Anexo 05. Registro fotográfico *(carpeta anexos)*
Anexo 06. Resolución de acreditación de IDEAM *(carpeta anexos)*

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resumen ejecutivo de la actividad, monitoreo y resultados 4
Tabla 2. Información general de la empresa 8
Tabla 3. Especificaciones de la fuente fija 11
Tabla 4. Condiciones de muestreo 13
Tabla 5. Información general de la empresa responsable de realizar el monitoreo 14
Tabla 6. Descripción del muestreador isocinético y equipos de laboratorio 15
Tabla 7. Información del equipo de pesaje 28
Tabla 8. Verificación de equipos 31
Tabla 9. Calibración externa de equipos de fuentes fijas 31
Tabla 10. Personal encargado de los monitoreos 32
Tabla 11. Procedimiento de mantenimiento y calibración 34
Tabla 12. Procedimiento de verificación de patrones y materiales de referencia 35
Tabla 13. Procedimiento para validación de datos 36
Tabla 14. Resultados de MP – Caldera Acuopirotubular de 350 BHP 37
Tabla 15. Resultados de SO2 – Caldera Acuopirotubular de 350 BHP 38
Tabla 16. Resultados consolidados de parámetros evaluados 39
Tabla 17. Registro único ambiental (RUA) 40

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema de la fuente fija evaluada 10
Figura 2. Muestreador isocinético* 16
Figura 3. Instrumentos de laboratorio 17
Figura 4. Equipo ORSAT 17
Figura 5. Número mínimo de puntos de muestreo 18
Figura 6. Tubo pitot tipo S 19
Figura 7. Tren de muestreo del contenido de humedad 23
Figura 8. Tren de muestreo para la medición de NO_2 26
Figura 9. Rotulo para muestra 27

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. Consolidado concentraciones 39

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1. Chimenea de Fuente evaluada - Caldera Acuopirotubular de 350 BHP 12

1 RESUMEN EJECUTIVO

La **Corporación Autónoma de Risaralda - CARDER**, dentro de su programa de control periódico, ha solicitado la ejecución de la evaluación de las emisiones contaminantes del punto de descarga en la Chimenea de la Caldera Acuopirotubular de 350 BHP para la empresa CORRUGADOS DE RISARALDA S.A.S.

A continuación, a manera de resumen se presenta la ficha técnica de los cálculos de emisión con base con la resolución 909 de 2008 y el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas de octubre de 2010 (versión 2.0).

Tabla 1. Resumen ejecutivo de la actividad, monitoreo y resultados

Sección	Característica	Valor o especificación
Generalidades	Solicitante	Corrugados de Risaralda S.A.S.
	NIT	900.583.550-5
	Representante Legal	Abraham Levy Toledo
	Identificación	1.088.304.611
	Contacto	Angie Paola Ramírez sgca@corrugadosderisaralda.com
	Identificación	43.575.855
	Cargo	Líder SGC – SGA
	Domicilio solicitante	Calle 9 Nº 3T-67 Bodega 2 Sector La Badea.
	Georreferenciación	O: 75°41'53,37'' N: 4°49'29,61''
	Municipio	Dosquebradas
	Departamento	Risaralda
	Número de fuentes	01
	Nombre de las fuentes	Fuente Fija #1. Caldera Acuopirotubular de 350 BHP
	Métodos utilizados para la toma y análisis de muestras	Monitoreo de evaluación de emisiones de fuentes fijas aplicando los métodos 1, 2, 3A, 4, 5, 6 Y 7 del CFR, T40, P60, Apéndices establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (US-EPA).
	Objetivo	Determinar la concentración de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxidos de azufre (SO_2) en el ducto de la fuente fija mencionada.
Especificaciones y Condiciones de operación de la fuente fija	Fecha de muestreo	22 y 23 de diciembre de 2025
	Fecha de recepción de muestras.	24 de diciembre de 2025
	Tipo	Monitoreo Periódico
	Tipo de fuente	Caldera Acuopirotubular
	Capacidad	350 BHP
	Sistema de control de emisiones	Multiciclón
	Combustible y tipo de alimentación	Sólido, carbón alimentado automáticamente con parrilla viajera

<table>
<tr><th>Sección</th><th>Característica</th><th colspan="3">Valor o especificación</th></tr>
<tr><td rowspan="15"></td><td rowspan="15">Consumo histórico carbón</td><td>Año</td><td>Mes</td><td>Cantidad Carbón (Ton/mes)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">2025</td><td>Enero</td><td>176,203</td></tr>
<tr><td>Febrero</td><td>115,161</td></tr>
<tr><td>Marzo</td><td>103,413</td></tr>
<tr><td>Abril</td><td>90,666</td></tr>
<tr><td>Mayo</td><td>81,439</td></tr>
<tr><td>Junio</td><td>158,409</td></tr>
<tr><td>Julio</td><td>200,422</td></tr>
<tr><td>Agosto</td><td>172,783</td></tr>
<tr><td>Septiembre</td><td>212,167</td></tr>
<tr><td>Octubre</td><td>176,811</td></tr>
<tr><td>Noviembre</td><td>184,422</td></tr>
<tr><td>Diciembre</td><td>158,672</td></tr>
<tr><td colspan="2">Promedio (Ton/mes)</td><td>152,547</td></tr>
<tr><td colspan="2">Promedio (Ton/día)</td><td>6,102</td></tr>
<tr><td colspan="2">Consumo 22 diciembre</td><td>109,44
(179% respecto al promedio diario anual)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Consumo 23 diciembre</td><td>9,546
(156% respecto al promedio diario anual)</td></tr>
<tr><td></td><td>Tipo de Chimenea</td><td colspan="3">Circular</td></tr>
<tr><td></td><td>Diámetro de chimenea</td><td colspan="3">0,55</td></tr>
<tr><td></td><td>Altura total de Chimenea</td><td colspan="3">23,86 metros desde la terraza</td></tr>
<tr><td></td><td>Tiene plataforma</td><td colspan="3">Si</td></tr>
<tr><td></td><td>Tiene escaleras</td><td colspan="3">SI</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Especificaciones y Condiciones de operación de la fuente fija</td><td colspan="2">Distancia A (m)</td><td colspan="2">17,78</td></tr>
<tr><td colspan="2">Relación (A/D)</td><td colspan="2">32 diámetros</td></tr>
<tr><td colspan="2">Distancia B (m)</td><td colspan="2">4,40</td></tr>
<tr><td colspan="2">Relación (B/D)</td><td colspan="2">8 diámetros</td></tr>
<tr><td colspan="2">¿Ausencia de flujo ciclónico?</td><td colspan="2">Si, ver anexo 2 Hojas de cálculo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longitud promedio niples (m)</td><td colspan="2">0,10</td></tr>
<tr><td colspan="2">Diámetro promedio de los niples</td><td colspan="2">4 pulgadas</td></tr>
<tr><td colspan="2">Grado de simetría de los niples</td><td colspan="2">90°</td></tr>
<tr><td colspan="2">Acceso</td><td colspan="2">Escalera con barandas y plataforma</td></tr>
<tr><td colspan="2">Temperatura promedio de la Chimenea</td><td colspan="2">172,90 °C</td></tr>
<tr><td colspan="2">Presión de los gases de salida (mm Hg)</td><td colspan="2">640,50</td></tr>
<tr><td colspan="2">Contenido de Humedad Reportada</td><td colspan="2">3,1 %</td></tr>
</table>

Sección	Característica	Valor o especificación
	Velocidad Promedio del Gas (m/s)	29,67
	Caudal condiciones de referencia	230,47 m^3/min
Resultados y comparación con la norma	ESTANDAR DE EMISIÓN ADMISIBLE para **material particulado (MP)** en mg/m^3	50
	RESULTADO para Material Particulado (MP) en mg/m^3	**46,02 ± 6,81**
	Unidad de contaminación ambiental (UCA) – Grado de significancia y frecuencia de monitoreo para material particulado (MP)	0,92 Grado de significancia MEDIO Frecuencia de monitoreo cada un (1) año.
	ESTANDAR DE EMISIÓN ADMISIBLE **para dióxidos de azufre (SO_2)** en mg/m^3	500
	RESULTADO para Dióxidos de Azufre (SO_2) en mg/m^3	**297,00 ± 38,51**
	Unidad de contaminación ambiental (UCA) – Grado de significancia y frecuencia de monitoreo para dióxidos de azufre (SO_2)	0,59 Grado de significancia MEDIO Frecuencia de monitoreo cada un (1) año.
	ESTANDAR DE EMISIÓN ADMISIBLE **para óxidos de nitrógeno (NOx)** en mg/m^3	350
	RESULTADO para óxidos de nitrógeno (NOx) en mg/m^3	**158,02 ± 16,12**
	Unidad de contaminación ambiental (UCA) – Grado de significancia y frecuencia de monitoreo para óxidos de nitrógeno (NOx)	0,45 Grado de significancia BAJO Frecuencia de monitoreo cada dos (2) años

Durante el muestreo y el tiempo posterior a la medición, no se reportan errores por perdida o alteración de la muestra, los filtros se encontraban en buen estado, se realizó el lavado de sonda en cada determinación, los reactivos usados fueron del grado de pureza adecuado. El porcentaje de isocinetismo se mantuvo dentro de los rangos establecidos, todos los equipos y procedimientos usados se encuentran acordes a las exigencias de los métodos citados y las muestras fueron tomadas a un porcentaje de operación acorde con las exigencias de la Resolución 909 de 2008 del MAVDT.

Gestión & Medioambiente NIT 900.492.960-0

César Augusto Castañeda
Director técnico

Gestión & Medioambiente NIT 900.492.960-0

Diana Lucía Castrillón Monroy
Directora de Calidad

2 INTRODUCCIÓN

El presente informe técnico contiene los resultados de la evaluación de contaminantes atmosféricos de una fuente fija (Caldera Acuopirotubular de 350 BHP) para la empresa "CORRUGADOS DE RISARALDA S.A.S." ubicada sobre la Calle 9 # 3T-67 Bodega 2 Sector La Badea jurisdicción del municipio de Dosquebradas (Risaralda). Los métodos utilizados en el muestreo isocinético están establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), los cuales son aprobados en el decreto 948 del Ministerio de Ambiente, al igual que en la Resolución 760 de 2010 modificada por la resolución 2153 de 2010 y en la Resolución 909 de junio de 2008.

Los contaminantes evaluados fueron material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxidos de azufre (SO_2); durante las mediciones realizadas los días 22 y 23 de diciembre se mantuvo una operación superior al 90% de promedio de la producción del último año (ver Tabla 3).

Las metodologías aplicadas para el muestreo y cálculo están basadas en el Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos de América, normalizadas por la Agencia de Protección Ambiental – EPA CFR Titulo 40, parte 60 Apéndice A, las cuales son adoptadas por el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, versión 2.0, emitido por el antiguo Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) mediante la Resolución 909 de 2008. Los métodos utilizados en el muestreo isocinético para la determinación de los contaminantes evaluados son:

- Método 1 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-1 Selección del sitio de muestreo, determinación del número de puntos y su localización.
- Método 2 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-1 Determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas con tubo pitot.
- Método 3 US EPA CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-2. Análisis de Gas para la Determinación de Peso Molecular Seco. Muestreo Integrado Multipunto.
- Método 4 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación del contenido de humedad de los gases.
- Método 5 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación de emisiones de partículas.
- Método 6 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4 Determinación de las emisiones de dióxido de azufre - SO2.
- Método 7 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4 Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno - NOx.

Durante las mediciones directas no se presentaron errores que alteren los resultados obtenidos. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio de Gestión Y Medioambiente S.A.S el cual se encuentra acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025 vigente para la realización de los análisis de las muestras tomadas en los monitoreos del recurso aire. Los métodos empleados para el análisis de laboratorio en el presente estudio fueron:

- Análisis de material particulado, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3: Método 5
- Análisis de SO_2, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 6

- Análisis de NOx, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 7

Se realizó un estudio de emisiones contaminantes en la fuente evaluada, con el fin de realizar un diagnóstico respecto a los estándares de emisión admisibles para el respectivo sector. Se presenta la información correspondiente en la Tabla 2.

Tabla 2. Información general de la empresa

Solicitante	Corrugados de Risaralda S.A.S.
NIT	900.583.550-5
Representante Legal	Abraham Levy Toledo
Identificación	1.088.304.611
Contacto	Gloria Castaño Chica
Identificación	43.575.855
Cargo	Líder SGC – SGA
Domicilio solicitante	Calle 9 Nº 3T-67 Bodega 2 Sector La Badea.
Municipio	Dosquebradas
Departamento	Risaralda
Número de fuentes	01
Nombre de las fuentes	Fuente Fija #1. Caldera Acuopirotubular de 350 BHP
Fecha de muestreo	22 y 23 de diciembre de 2025
Fecha de recepción de muestras.	2025/12/24
Tipo	Monitoreo Periódico

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S, 2025

De acuerdo con la tabla N.5 del Artículo 8 de la Resolución 909 del 2008 del MAVDT, los estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos (operando después del año 2008), que corresponde a la chimenea de la caldera evaluada a condiciones de referencia (25ºC, 760 mm Hg) son: MP 50 mg/m^3, NOx 350 mg/m^3 y SO_2 500 mg/m^3. Para la determinación de las concentraciones se utilizaron los métodos EPA 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del CFR, T40, P60, AA de la US EPA, en el desarrollo del monitoreo no se identificaron errores en las mediciones y los resultados.

3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Verificar el cumplimiento de los estándares permisibles de emisión para fuentes fijas, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 909 de 2008 y los requerimientos del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas versión 2.0 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de Material Particulado (MP), Óxidos de Nitrógeno (NOx) y Dióxidos de Azufre (SO_2) aplicando los métodos US EPA 1,2,3, 4, 5, 6 y 7 US EPA en las emisiones de la fuente evaluada.

- Comparar y evaluar los resultados de las emisiones atmosféricas de las fuentes evaluadas operando a condiciones normales mínimo al 90% de capacidad, frente a los limites admisibles establecidos en la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)

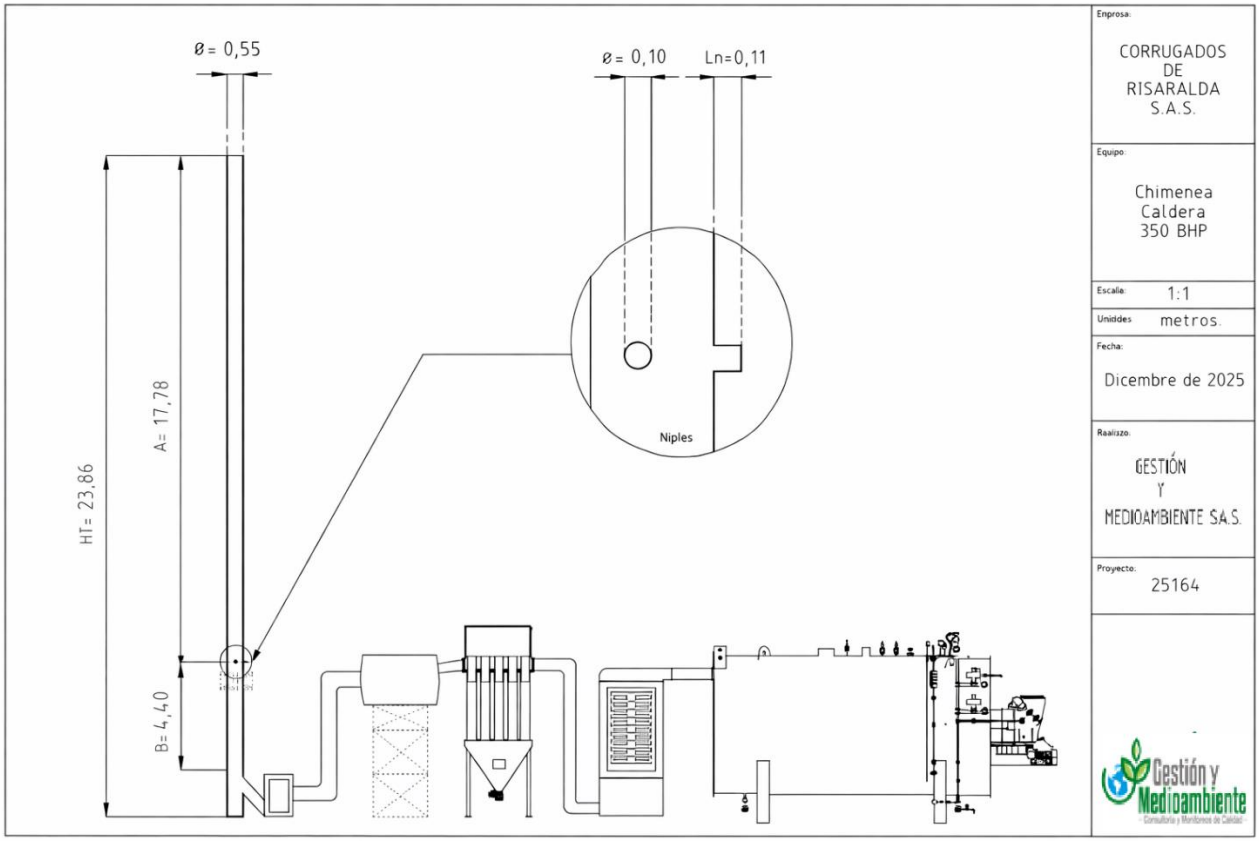
- Corroborar la frecuencia de los estudios de evaluación de emisiones atmosféricas mediante el uso de las Unidades de Contaminación Atmosférica (UCA).

4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y EL SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES

CORRUGADOS DE RISARALDA S.A.S es una empresa del sector papelero que además de producir papel a partir de fibras recicladas, brinda soluciones de empaques en plegadiza, microcorrugado y corrugado para la mejor presentación e imagen de productos. Cuenta con una planta de más de 9.000 m2, con una amplia capacidad de producción, ubicada en la zona industrial de La Badea, del municipio de Dosquebradas, departamento de Risaralda. Como parte del proceso se cuenta con una unidad generadora de vapor (caldera) cuyo combustible es el carbón. La combustión de este combustible provee el calor necesario para la generación de vapor, que a su vez genera emisiones de material particulado, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno que son expulsadas por un sistema de extracción (chimenea).

En la Figura 1 se muestra el esquema general de la Caldera Acuopirotubular de 350 BHP.

Figura 1. Esquema de la fuente fija evaluada



Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025.

4.1 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

Las características más importantes se resumen en la **Tabla 3** y el registro fotográfico de la fuente evaluada se muestra en la Fotografía 1.

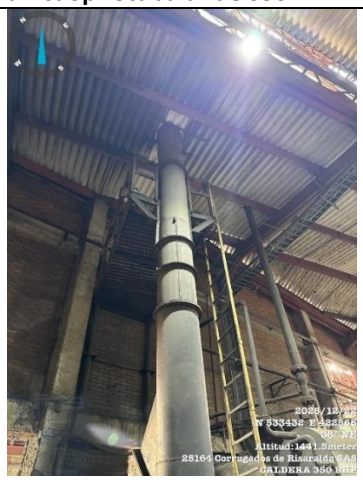
Tabla 3. Especificaciones de la fuente fija

CARACTERÍSTICAS	UNID	ESPECIFICACIÓN
Tipo de fuente	-	Caldera
Capacidad	-	350 BHP
Tipo de caldera	-	Horizontal Acuopirotubular
Sistema de control de emisiones		Multiciclón
Combustible y tipo de alimentación	-	Sólido, carbón alimentado con parrilla viajera
Combustible y consumo histórico	-	Año / Mes / Cantidad Carbón (Ton/mes)
		2025 – Enero: 176,203
		2025 – Febrero: 115,161
		2025 – Marzo: 103,413
		2025 – Abril: 90,666
		2025 – Mayo: 81,439
		2025 – Junio: 158,409
		2025 – Julio: 200,422
		2025 – Agosto: 172,783
		2025 – Septiembre: 212,167
		2025 – Octubre: 176,811
		2025 – Noviembre: 184,422
		2025 – Diciembre: 158,672
		Promedio (Ton/mes): 152,547
		Promedio (Ton/día): 6,102
		Consumo 22 diciembre: 10,944 (179% respecto al promedio diario anual)
		Consumo 23 diciembre: 9,546 (156% respecto al promedio diario anual)
Tipo de Chimenea	-	Circular
Diámetro de chimenea	m	0,55
Altura total de Chimenea	m	23,86 metros desde la terraza
Tiene plataforma	-	Si
Tiene escaleras	-	SI

Fuente: CORRUGADOS DE RISARALDA S.A.S., 2025

En la Fotografía 1 se presenta de manera general un registro fotográfico de la fuente evaluada en la empresa Corrugados de Risaralda S.A.S. y en el Anexo 4 se muestra una evidencia fotográfica mucho más completa de la fuente en evaluación teniendo en cuenta todo el proceso del muestreo isocinético.

Fotografía 1. Chimenea de Fuente evaluada - Caldera Acuopirotubular de 350 BHP

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Diámetro interno (m)</td><td>17,78</td></tr>
<tr><td>Distancia A (m)</td><td>32 diámetros</td></tr>
<tr><td>Relación (A/D)</td><td>4,40</td></tr>
<tr><td>Distancia B (m)</td><td>8 diámetros</td></tr>
<tr><td>Relación (B/D)</td><td>0,10</td></tr>
<tr><td>¿Ausencia de flujo ciclonico?</td><td>Si, ver anexo 2 Hojas de cálculo</td></tr>
<tr><td>Longitud promedio niples (m)</td><td>17,78</td></tr>
<tr><td>Diametro promedio de los niples</td><td>4 pulgadas</td></tr>
<tr><td>Grado de simetría de los niples</td><td>90°</td></tr>
<tr><td>Acceso</td><td>Escalera con barandas y plataforma</td></tr>
</table>

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S, 2025.

4.2 CONDICIONES DE MUESTREO

Tabla 4. Condiciones de muestreo

Estado de los Gases de Combustión en Chimenea y las Condiciones Ambientales		
Condiciones de chimenea	Caldera Acuopirotubular de 350 BHP	Unidades
Puntos Totales de Muestreo:	8	Puntos
Muestras para MP:	3 muestras + 1 Preliminar	Filtros
Muestras para SO_2:	3 muestras	Soluciones
Temperatura Ambiente:	34,77	ºC
Altitud:	1650	m.s.n.m.
Temperatura Promedio de Gases de Salida:	172,90	ºC
Presión Atmosférica:	635,60	mm Hg
ΔP promedio	40,2	mm H_2O
Pg promedio	10	mm H_2O
Velocidad Promedio de los gases de Chimenea	29,67	m/s
Humedad de gases de Chimenea	3,1	%
Composición de los gases de emisión	Valor	Unidades
Dióxido de Carbono Promedio–CO_2-	5,7	%
Oxigeno Promedio –O_2-	15,3	%
Monóxido de Carbono Promedio –CO-	0,0	%
Nitrógeno Promedio –N_2-	79,0	%
Peso molecular Promedio del gas seco-Md-	27,80	gr/gr-mol

Fuente: Gestión Y Medioambiente SAS

5 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE MEDICIÓN

5.1 INFORMACIÓN GENERAL DE GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S

La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de Gestión Y Medioambiente S.A.S con NIT: 900.492.960-0 ubicado en la carrera 28D 71 - 12 barrio Palermo en Manizales (Caldas), acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017 bajo Resolución 0811 del 22 de julio de 2025 y 1013 del 28 de agosto de 2025, además, se encuentra trabajando en diferentes sectores industriales, públicos y privados.

Gestión Y Medioambiente S.A.S cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, mediante resolución de acreditación por parte del IDEAM en toma y análisis en fuentes fijas, por medio de los métodos estandarizados de la USEPA, garantizando que los estudios realizados son válidos por las autoridades nacionales y regionales.

Además, se cuenta con un sistema integrado de gestión de calidad, seguridad y salud en el trabajo y gestión ambiental, garantizando la calidad y dando cumplimiento a cada uno de sus compromisos comerciales. Gestión Y Medioambiente S.A.S, cuenta con una adecuada estructura tecnológica y de calidad, con un personal interdisciplinario y multidisciplinario, como garantía para el desarrollo de los servicios ofrecidos y producto entregado. Esta información está consignada en la Tabla 5.

Tabla 5. Información general de la empresa responsable de realizar el monitoreo

DATOS GENERALES DE LABORATORIOS	
Nombre	GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S
NIT	900.492.960-0
Dirección	Carrera 28D 71 - 12 Barrio Palermo
Ciudad, Departamento	Manizales, Caldas
Teléfono	(057) (6) 890 37 77 Cel. 318 389 8066
Correo electrónico	*gerencia@gestionymedioambiente.com.co*
Acreditación IDEAM	Resolución 0811 del 22 de julio de 2025 y 1013 del 28 de agosto de 2025
Experiencias Previas	• Buencafé Liofilizado de Colombia • Terniium Siderurgica de Caldas • Nestlé de Colombia SA • Harinera de Occidente • Industria de Harinas Tuluá • Proelectrica S.A E.S.P EBR Rubiales y ODL Tauramena

Fuente Gestión Y Medioambiente S.A.S, 2025

5.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

5.2.1 Descripción de los equipos

En la Tabla 6 se presenta una breve descripción de los equipos empleados para el muestreo Isocinético y análisis de laboratorio respectivo, con el número de serie de cada uno de ellos.

Tabla 6. Descripción del muestreador isocinético y equipos de laboratorio

ITEM	EQUIPO	CÓDIGO INTERNO/ SERIAL	FECHA DE CALIBRACIÓN
1	Medidor de gas seco (Dry Gas Medidor - DGM) de Consola Environmental Supply C-5000 (Cod Interno M065)	M065-DGM 18379396	2025/07/30
2	Termocuplas de equipo M065	M065-T	2025/04/01
3	Vacuómetro de consola M065	M065-V	2025/04/15
4	Manómetro inclinado de consola M065	M065-P	2025/04/15
5	Orificios Críticos Environmental Supply CO	M071/ CO1680	2025/11/19
6	Gases de calibración – CO_2 y O_2	M161-M162-M163/ FF35119-FF54958-FF54950	Septiembre de 2024 hasta septiembre de 2027
7	Pesa Patrón de 500 g Marca Trumax	M111/ AQ180190	2024/04/04
8	Pie de rey Uberman 0 mm a 150 mm	M128/No reporta	2025/05/26
9	Balanza analítica Sartorius Modelo: BCE224I-1S	A059/ 0043204462	2025/01/22
10	Balanza de precisión Trumax Mix-A	M143/YS226912	2025/09/13
11	Horno de secado BINDER Modelo FD-S-115-UL	A063/2023000017999	2025/11/04
12	Termómetro digital con termocupla Tipo K Marca Fluke	M068/25810168WS	2025/04/01
13	Anemómetro Kestrel 3500	M158/2941549	2025/02/05
14	Manómetro diferencial de presión Digital Marca DWYER	M069/No reporta	2025/04/01
15	Analizador de combustión	M151/ 81003400	2025/03/01
16	Bureta Digital	A062/ 24B41263	2025/03/25
17	Espectrofotómetro	A043	2025/09/09

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S, 2025

5.2.1.1 Equipo isocinético

El equipo utilizado es un muestreador isocinético marca C-5000 ENVIRONMENTAL SUPPLY COMPANY, INC, la **Figura 2** muestra un esquema con base en lo establecido por el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, el equipo ha sido diseñado cumpliendo con las especificaciones de la US EPA.

Figura 2. Muestreador isocinético*



Fuente: Base de datos Gestión Y Medioambiente S.A.S
* C-5000 ENVIRONMENTAL SUPPLY COMPANY, INC

La corriente de gas es succionada a través de la boquilla (Nozzle), conducida por la sonda (Probe) hacia la caja caliente (hot box), donde las partículas pasan a través de un filtro y son removidas de la corriente gaseosa, luego el gas caliente pasa a una caja fría (cold box) en donde se encuentran los impactadores.
El equipo cuenta con un cordón umbilical, el cual conduce el gas que sale de la caja fría hacia la consola, que contiene en su interior un manómetro para determinar la caída de presión a través de un orificio y otro que marca la diferencia de presión del tubo de Pitot en S, colocado junto con la boquilla en el interior de la chimenea; la succión para que el equipo funcione la realiza una bomba de vacío.

Los módulos de medición de gas constan de un medidor de gas seco en el cual se registra el volumen de aire succionado; cuenta con un caudal nominal de hasta 4.4 m^3/h (2,6 cfm) en 25 mm H_2O. La sonda de toma de muestra es estándar según el método 5, con una longitud de 6 ft elaborada con acero inoxidable el cual resiste temperaturas máximas de 650 °C. El tren que cuenta con un total de cuatro impactadores (para el método 6), los dos primeros contienen cada uno 100 mililitros de peróxido de hidrógeno al 3%, el tercero se encuentra vacío y el último contiene 200 gramos de sílice-gel. Estos se encuentran sumergidos en hielo, el cual por diferencia de temperatura causa condensación.

5.2.1.2 Equipos de laboratorio

Para la determinación del material particulado según el método 5: Análisis de material particulado, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3: se utiliza una balanza digital SARTORIUS (a), mediante gravimetría se calcula la diferencia en peso con el fin de determinar posteriormente la concentración de material particulado. Para el acondicionamiento del pH en el análisis y elaboración de soluciones, se emplea de un pHmetro HANNA (c) que tiene la capacidad de medir pH y temperatura simultáneamente, para la titulación en el análisis de soluciones de SO_x y según el método 6, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-6 se usan equipos volumétricos, ver Figura 3.

Figura 3. Instrumentos de laboratorio

a) Balanza Analítica **b) Espectrofotómetro** **c) pHmetro**



Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S

El Laboratorio Gestión y Medioambiente S.A.S. se encuentra acreditado según la Resolución 0811 del 22 de julio de 2025 y 1013 del 28 de agosto de 2025 de IDEAM para producir información cuantitativa física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes, e información de carácter oficial relacionada con el recurso aire.

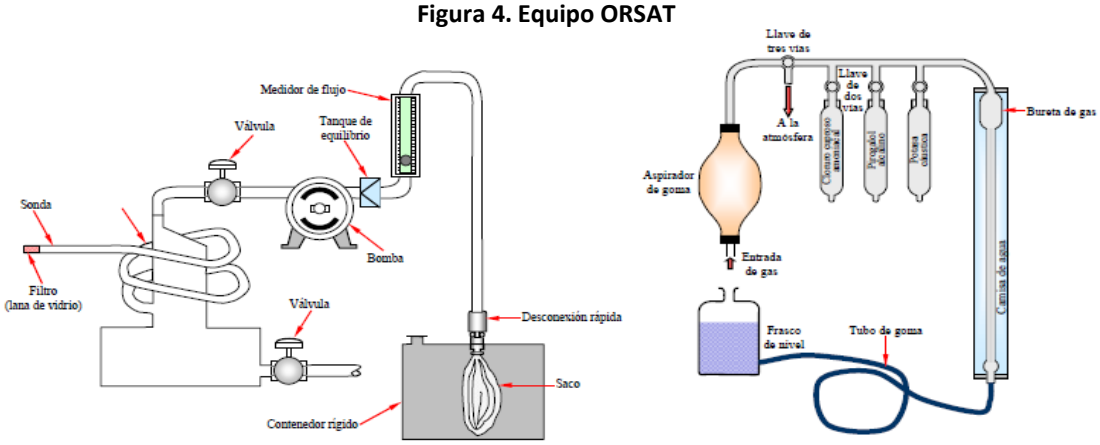
5.2.1.3 Equipo analizador de gases de combustión

5.2.1.3.1 Orsat

Es un dispositivo que permite realizar análisis volumétrico en base seca de los productos de la combustión. El Orsat más común sirve para determinar el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y el oxígeno. La Figura 4 muestra un Orsat de tres reactivos, con una bureta de medición revestida por una camisa de agua con el fin de evitar variaciones de temperatura durante el análisis. Las pipetas A, B y C contienen hidróxido de potasio (absorbe el CO2), ácido pirogálico (absorbe el O2) y cloruro cuproso (absorbe el CO2), respectivamente.

El equipo analizador llamado Orsat, permite individualizar y cuantificar los gases ácidos (anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso y otros gases ácidos eventualmente presentes, en su conjunto), el O2 y el CO2 en una muestra gaseosa. Está diseñado para determinaciones del método 3, por análisis integrado o muestras colectadas en bolsas de tedlar para determinar el CO2 y a veces las concentraciones de CO de la emisión de combustibles fósiles, basado en el cambio de volumen que sufren ciertos compuestos al absorber.

Figura 4. Equipo ORSAT



Fuente: Base de datos Gestión Y Medioambiente S.A.S

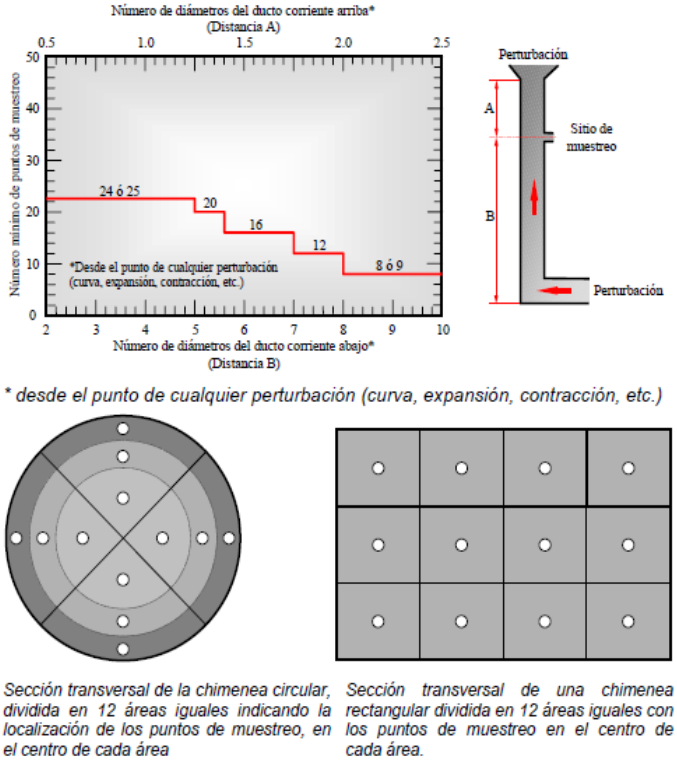
5.2.2 MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS

Los métodos empleados para toma de muestras en el presente estudio establecidos por US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60 fueron:

5.2.2.1. Método 1 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 Selección del sitio de muestreo, determinación del número de puntos y su localización

Para obtener una medición representativa de las emisiones de los contaminantes y/o los caudales de una fuente estacionaria, se selecciona un sitio de medición en la chimenea en donde la corriente fluye en una dirección conocida. Se divide la sección transversal en un número de áreas iguales y se localiza un punto de travesía dentro de cada una de estas áreas (Figura 5).

Figura 5. Número mínimo de puntos de muestreo



** desde el punto de cualquier perturbación (curva, expansión, contracción, etc.)*

Sección transversal de la chimenea circular, dividida en 12 áreas iguales indicando la localización de los puntos de muestreo, en el centro de cada área

Sección transversal de una chimenea rectangular dividida en 12 áreas iguales con los puntos de muestreo en el centro de cada área.

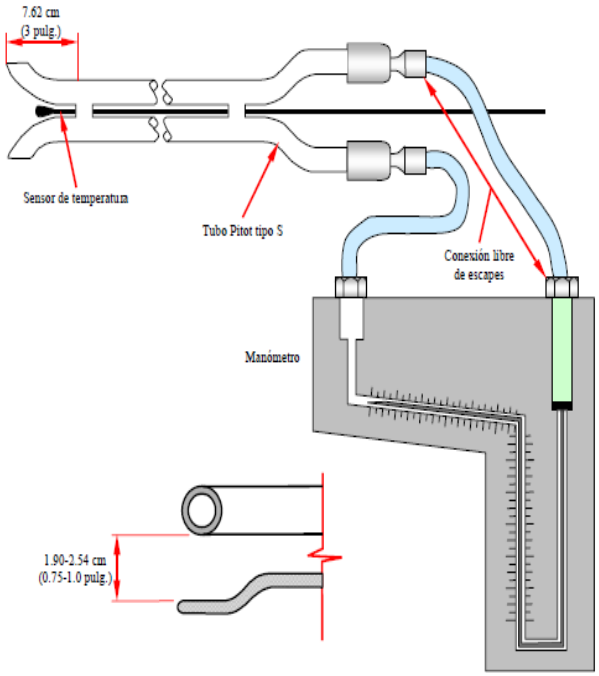
Fuente: Base de datos Gestión Y Medioambiente S.A.S

Este método es aplicable para corrientes de gas que fluyen en ductos y chimeneas. El método no puede ser usado cuando: (1) El flujo es ciclónico o turbulento, (2) El diámetro de la chimenea es inferior a 0,30 m o tiene un área transversal inferior a 0,071 m^2; o (3) El sitio de medición tiene menos de dos diámetros de chimenea o ducto corriente abajo o menos de medio diámetro corriente arriba después de una perturbación. Se considera que la sección del ducto más adecuada para ubicar el sitio de medición es aquella que tiene una distancia equivalente de ocho (8) diámetro corriente abajo, después de una perturbación y dos (2) diámetro corriente arriba antes de la siguiente, ya que en esta franja se encuentra un flujo laminar.

5.2.2.2. Método 2, Apéndice A-1 Determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas o ductos con tubo pitot

Para establecer la velocidad del gas en el ducto de emisión se usan las lecturas de la medida de la presión diferencial con un tubo de Pitot tipo S (Stausscheibe u opuesto). La velocidad del gas está condicionada directamente por la humedad, densidad y temperatura de emisión. El cálculo del caudal total se determina mediante el cálculo de la velocidad y área total del ducto, como lo establece el método, Figura 6.

Figura 6. **Tubo pitot tipo S**



Fuente: Base de datos Gestión Y Medioambiente S.A.S

El tubo pitot estándar puede usarse en lugar de uno tipo “S”, sin embargo, como los orificios de presión estática y absoluta del tubo estándar son susceptibles a obstruirse por las partículas presentes en la corriente gaseosa; siempre que este se utilice para realizar una travesía, se debe inspeccionar para asegurarse que los orificios no se han tapado durante la medición.

Esto se puede lograr comparando la medición de la presión de velocidad (ΔP) registrada en un punto de travesía seleccionado con una segunda medición de ΔP registrada en el mismo punto después hacer pasar aire presurizado en contracorriente por el tubo pitot para limpiar los orificios de presión absoluta y estática. Si las mediciones de ΔP, antes y después; están dentro de un 5 % de diferencia, entonces los datos de la travesía son aceptables. Los resultados de la determinación de la velocidad y tasa volumétrica de gases en chimenea, se presentan en el Anexo 2 del estudio.

Muestreo preliminar

En el muestreo preliminar para cada fuente evaluada se calculan los siguientes parámetros:

- Presión absoluta en la chimenea (P_s)
- Presión de medición (P_m)
- Volumen de gases medidos a condiciones estándar (V_{mst})
- Volumen de vapor de agua en impactadores y sílice gel en condiciones estándar (V_{wst})
- Contenido de humedad en gases de chimenea (B_{ws})
- Peso molecular del gas en condiciones de chimenea (M_s)
- Diámetro de la boquilla (ϕn)
- Constante isocinética de trabajo (K)

5.2.2.3. Método 3, Apéndice A-2. Análisis de Gas para la Determinación de Peso Molecular Seco. Muestreo Integrado Multipunto

Una muestra es extraída de la chimenea, por medio de uno de los siguientes métodos: (1) Un solo punto, muestreo puntual, (2) Un solo punto, muestreo Integrado ó (3) Multipunto, Muestro Integrado. La muestra del gas es analizada para determinar porcentaje de CO2 y de O2 y, si fue necesario el porcentaje de CO use un analizador de gases de combustión Orsat.

Este método es aplicable para determinar las concentraciones de (O2), (CO2) y (CO) de una muestra en una corriente de gas de un proceso de combustión de combustible de fósiles para exceso de aire o para cálculos del factor de corrección de la variación de la emisión del exceso de aire. En el caso de que compuestos como el CO2, O2, CO y nitrógeno (N2) estén presentes en concentraciones suficientes para afectar los resultados, los procedimientos de cálculo presentados en este método deben ser modificados, sujetos a la aprobación de la Autoridad Ambiental.

Otros métodos, así como modificaciones al procedimiento descrito, son también aplicables para todas las determinaciones anteriores. Ejemplos de métodos específicos y modificaciones incluyen: (1) un método de muestreo multipunto usando un analizador Orsat para analizar las muestras obtenidas en cada punto; (2) Un método que usa CO2 o O2 y cálculos estequiométricos para determinar el exceso de aire. Estos métodos modificados pueden usarse, pero están sujetos a la aprobación por parte del administrador

Como alternativa para los aparatos de muestreo y los sistemas descritos en este método, se pueden utilizar otros equipos (por ejemplo., desplazamiento de líquido) siempre y cuando estos garanticen que se mantiene un flujo de muestreo constante y que son capaces de arrojar resultados confiables y aceptables. Estos sistemas estarán sujetos a la aprobación por parte de la autoridad ambiental.
El análisis. Se debe utilizar un analizador Orsat solamente. Para concentraciones bajas de CO2 (menos de 4,0%) y concentraciones altas de O2 (mayor de 15,0 %), la bureta de medición del Orsat debe tener por lo menos 0,1 % de subdivisiones.

Términos utilizados en los cálculos.

ACE = Error de calibración del analizador, porciento del límite superior de calibración

B_{WS} = Contenido de humedad en la muestra de gas medido de acuerdo con el método 4 u otro método aprobado, %/100

C_D = Concentración promedio sin ajustes indicada por el registrador de datos para una corrida de la prueba, %

C_{Dir} = Concentración medida para un gas de calibración (bajo, medio o alto) introducido en el modo de calibración directa, %

C_{Gas} = Concentración promedio del efluente gaseoso ajustada por desviación por sistema, %

C_M = Respuestas promedio al gas de calibración de valor alto durante la prueba inicial y final de desviación por sistema (o prueba de error de calibración de sistema de 2 niveles), ppm

C_{MA} = Concentración actual del gas de calibración de valor alto, ppm

C_{Native} = Concentración de NO_X en el gas de la chimenea calculada de acuerdo con la Sección 12.6, ppm

C_O = Respuestas promedio al gas de calibración de nivel-bajo (o cero) durante la prueba inicial y final de desviación por sistema (o prueba de error de calibración de sistema de 2 niveles), ppm

C_{OA} = Concentración actual del gas de calibración de nivel-bajo, ppm

C_S = Concentración medida para un gas de calibración (bajo, medio o alto) introducido en el modo de calibración de sistema, %

C_{SS} = Concentración de NO_X medida en la muestra fortificada, %

C_{Spike} = Concentración de NO_X en el gas de fortificación sin diluir, ppm

C_{Calc} = Concentración calculada de NO_X del gas de fortificación ya diluido en la muestra, %

C_V = Concentración certificada por el fabricante para un gas de calibración (bajo, medio o alto), %

C_W = Concentración de un contaminante medido bajo condiciones de muestra húmeda, base húmeda, ppm

CS = Límite superior de calibración, %

D = Evaluación del desplazamiento, porciento del límite superior de calibración

DF = Factor de dilución del sistema de dilución o factor de dilución del gas de fortificación, adimensional

Eff_{NO2} = Eficiencia del convertidor de NO_2 a NO, porciento

NO_{Xcorr} = Concentración de NO_X corregida por eficiencia de conversión, ppm

NO_{Xfinal} = Concentración final de NO_X observada durante la prueba de eficiencia de conversión de la Sección 16.2.2, ppm

NO_{Xpeak} = Concentración máxima de NO_X observada durante la prueba de eficiencia de conversión de la Sección 16.2.2, ppm

Q_{Spike} = Flujo del gas de fortificación introducido en modo de calibración de sistema, l/min

Q_{Total} = Flujo total de muestra durante la prueba de fortificación, l/min

R = Recuperación de la fortificación, porciento

SB = Desviación por sistema, porciento del límite superior de calibración

SB_i = Desviación por sistema inicial, porciento del límite superior de calibración

SCE = Error de calibración del sistema, porciento del límite superior de calibración

SCE_i = Error de calibración del sistema inicial, porciento del límite superior de calibración

SCE_{Final} = Error de calibración del sistema final, porciento del límite superior de calibración

5.2.2.3.1 Error de Calibración del Analizador

Para sistemas sin dilución, utilice la Ecuación 7E-1 para calcular el error de calibración del analizador para los gases de calibración de nivel-bajo, nivel-medio y nivel-alto.

$$ACE = \frac{C_{Dir} - C_V}{CS} \times 100$$ **Ecuación 7E-1**

Desviación por Sistema.
Para sistemas sin dilución, utilice la Ecuación 7E-2 para calcular la desviación por sistema en forma separada para los gases de calibración de nivel-bajo y valor alto.

$$SB = \frac{C_S - C_{Dir}}{CS} \times 100$$ **Ecuación 7E-2**

Evaluación del Desplazamiento.
Utilice la Ecuación 7E-4 para calcular en cada corrida y en forma separada, el desplazamiento para el gas de calibración de nivel-bajo y el de valor alto. Para sistemas por dilución, remplace "SBFinal" y "Sbi" con "SCEFinal" y "SCEi", respectivamente, para evaluar el desplazamiento.

$$DE = |SB_{Final} - SB_i|$$ **Ecuación 7E-4**

Reportar dos cifras decimales. Utilizar calculadora.
Hojas de cálculo: GAM-FT-241 V02 Información campo muestreo fuentes fijas

5.2.2.3.2 Concentración en el Gas del Efluente

Para cada corrida, calcule C_{Avg}, el promedio aritmético de todos los valores válidos de concentración de CO2, O2 (p.e., promedios de 1 minuto). Ajuste el valor de C_{Avg} por la desviación por sistema utilizando la Ecuación 7E-5ª si Usted utilizó un gas de nivel-bajo que no fuera gas cero, o la Ecuación 7E-5b si utilizó un gas cero como gas de calibración de nivel-bajo.

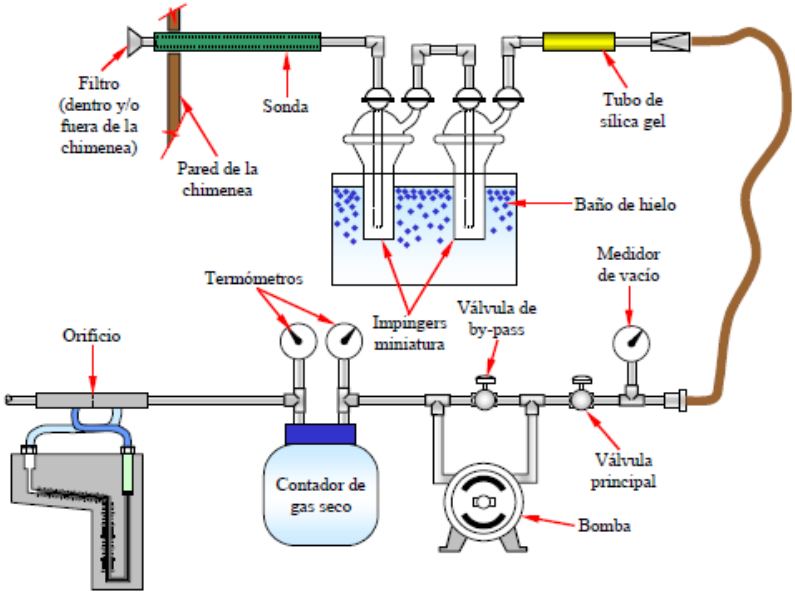
$$C_{Gas} = (C_{Avg} - C_M)\frac{(C_{MA} - C_{OA})}{(C_M - C_O)} + C_{MA}$$ **Ecuación 7E-5ª**

$$C_{Gas} = (C_{Avg} - C_O)\frac{C_{MA}}{(C_M - C_O)}$$ **Ecuación 7E-5b**

5.2.2.4. Método 4 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación del contenido de humedad de los gases.

Una muestra de gas es extraída a una tasa constante desde la fuente; la humedad se removida de la corriente de la muestra y se determina gravimétrica o volumétricamente. El método contiene dos posibles procedimientos: un método de referencia y uno de aproximación, Figura 7.

Figura 7. **Tren de muestreo del contenido de humedad**



Fuente: Base de datos Gestión Y Medioambiente S.A.S

El método de referencia es usado para determinar con exactitud el contenido de humedad (tales como las necesarias para calcular los datos de emisión). El método de aproximación, provee estimativos de porcentaje de humedad para ayudar a establecer las tasas de muestreos isocinéticas antes de una corrida de medición de emisiones contaminantes. El método de aproximación descrito aquí es sólo un enfoque sugerido; los medios alternativos para la aproximación del contenido de la humedad, (por ejemplo, tubos desecados, técnicas bulbo húmedo bulbo seco, técnicas de condensación, cálculos estequiométricos, experiencias previas, etc.) son igualmente aceptables.

El método de referencia a menudo se realiza simultáneamente con un recorrido de medición de emisiones contaminantes. Cuando lo es, el cálculo del porcentaje isocinético, la tasa de emisión de contaminantes, etc., se basará en los resultados del método de referencia o su equivalente. Estos cálculos no se basan en los resultados del método de aproximación, a menos que el método de aproximación demuestre, a satisfacción de la autoridad ambiental, ser capaz de obtener resultados dentro del uno (1%) de humedad del método de referencia.

5.2.2.5. Método 5 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación de emisiones de partículas

Para la determinación de la emisión de partículas por este método se deben realizar los procedimientos y métodos de referencia 1, 2, 3, y 4, como prerrequisito o parte integral del método 5. La muestra de gas debe tomarse de la chimenea de tal manera que la velocidad de succión del gas sea igual a la velocidad con la que circula el gas en la chimenea (isocinetismo).

Se deben conservar los valores de temperatura y humedad en el recorrido de la muestra, desde la boquilla hasta la captura y almacenamiento, con el objeto de evitar la segregación de las partículas o su deposición en el recorrido. Se realizaron tres (03) corridas para material particulado MP, con tiempos de sesenta (60) minutos en la toma de muestra.

Los datos de campo se evidencian en el Anexo 1, los procedimientos de cálculo y las hojas descritas en el protocolo se encuentran en los anexos correspondientes que cumplen con la información del protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.

5.2.2.5.1 Muestreo definitivo

Con base en el muestreo preliminar y el cálculo de variables se procede a realizar el muestreo isocinético definitivo. Con base en los datos de campo obtenidos en el muestreo definitivo y los resultados de laboratorio, se procede a calcular los siguientes parámetros:

- Presión absoluta en chimenea (P_s)
- Presión de medición (P_m)
- Volumen de gases medidos a condiciones estándar (V_{mst})
- Volumen de vapor de agua en impactadores y sílice gel a condiciones estándar (V_{wst})
- Contenido de humedad en gases de chimenea (B_{ws})
- Peso molecular del gas en condiciones de chimenea (M_s)
- Velocidad del gas en la chimenea
- Porcentaje de isocinetismo
- Caudal de gases en condiciones de chimenea (Q_s)
- Caudal de gases húmedos en condiciones estándar (Q_{sts})
- Caudal de gases secos en condiciones de referencia (Q_{crd})
- Volumen seco de gases muestreados a condiciones de referencia (V_{mcr})

5.1.1.1 Método 6 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-4 Determinación de las emisiones de dióxido de azufre - SO2.

Una muestra de gas se extrae del punto de muestreo en la chimenea. El SO_2 y el SO_3, incluyendo aquellas fracciones de nieblas ácidas de azufre, son separadas. La fracción de SO_2 es medida por el Método de titulación Bario Torina.

5.1.1.1.1 Concentración de SO2 en base seca

Para calcular la concentración de dióxido de azufre (SO_2) se utilizó el procedimiento contenido en el método 6 de la US EPA., la concentración de SO_2 se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{(SO_2)_{crd}} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{m_{SO_2}}{V_{mcrd}}$$

Dónde:

$C_{(SO2)crd}$: Concentración de SO_2 a condiciones de referencia, en base seca en mg/m^3

m_{SO2} : Masa de SO_2 reportada por el laboratorio en µg

V_{mcrd} : Volumen de la muestra de gas que pasó a través del medidor de gas seco a condiciones de referencia en m^3

5.1.1.1.2 Emisión de SO2 en base seca y condiciones de referencia

La emisión de SO_2 a condiciones de referencia se encuentra aplicando la expresión:

$$E_{(SO_2)_{crd}} = \frac{C_{(SO_2)_{crd}} \times Q_{crd}}{1000000}$$

Q_{crd} : Caudal a condiciones de referencia para el muestreo isocinético definitivo.

5.1.1.2 Método 7 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-4 (US EPA) Determinación de emisiones de dióxido de nitrógeno – NO2.

Se colecta una muestra que es evacuada en un frasco que contenga una solución absorbente de ácido sulfúrico diluido en peróxido de hidrogeno, y los óxidos de nitrógeno, excepto del óxido nitroso, se miden colorimétricamente usando el procedimiento de ácido fenoldisulfonico (PDS).

5.1.1.2.1 Concentración de NOx en base seca

Para calcular la concentración de óxidos de nitrógeno (NO_x) se utilizó el procedimiento contenido en el método 7 de la US EPA. Según el método citado, la concentración de NO_x se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{(NO_x)crd} = 10^3 \frac{mg \times ml}{m^3 \times \mu g} \times \frac{m}{V_{crd}}$$

Dónde:

$C_{(NOx)crd}$: Concentración de NO_x a condiciones de referencia, en base seca en mg/m^3
N°3 : Factor de conversión, en $mg*ml/m^3*\mu g$
m : Peso de la muestra de NO_x analizada, en µg
V_{crd} : Volumen muestra de gas a condiciones de referencia y base seca en ml

El volumen de gas a condiciones de referencia y base seca se calcula con la ecuación:

$$V_{crd} = \frac{T_{cr}}{P_{cr}} \times (V_{fr} - V_{ab}) \times \left[\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i}\right]$$

T_{cr} es 25 °C ó 537 °R y P_{cr} es 29.92 inHg. Entonces V_{cr} es:

$$V_{crd} = (17{,}95 \frac{°R}{pulg.Hg}) \times (V_{fr} - V_{ab}) \times \left[\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i}\right]$$

En el Anexo 2 Formatos de campo se registran los valores de las siguientes variables necesarias para el cálculo de concentración de NO_X:

V_{fr} : Volumen recipiente de muestreo y válvula en ml = 2345 ml
V_{ab} : Volumen de la solución absorbente en ml
P_f : Presión absoluta inicial en el recipiente de muestreo en inHg
P_i : Presión absoluta final en el recipiente de muestreo en inHg
T_f : Temperatura absoluta final en el recipiente de muestreo en °R
T_i : Temperatura absoluta inicial en el recipiente de muestreo en °R

5.1.1.2.2 Emisión de NOx en base seca y condiciones de referencia

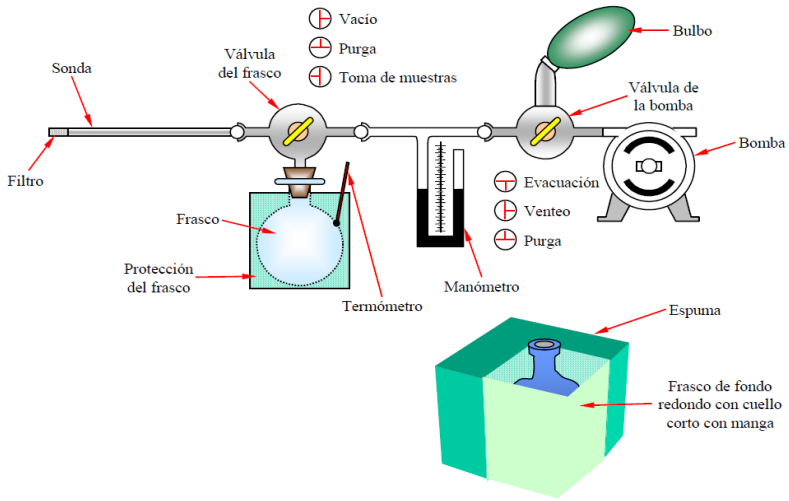
Para determinar la emisión de contaminante se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{(NO_x)_{crd}} = \frac{C_{(NO_x)_{crd}} \times Q_{crd}}{1000000}$$

Dónde:

Q_{crd}: Caudal a condiciones de referencia.

Figura 8. Tren de muestreo para la medición de NO_2



Fuente: Tren de muestreo, válvula de balón y balón. Método 7 – Determinación de las emisiones de óxido de nitrógeno en fuentes estacionarias. Versión 1. IDEAM

5.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS: PROCEDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA

Los métodos empleados para análisis de laboratorio en el presente estudio fueron: el análisis de material particulado, US EPA, e-CFR, Título 40, Parte 60, Apéndice A: Método 5. Este método se especifica internamente en los procedimientos **PR-224 Determinación de MP en fuentes fijas**, que han sido revisados por el IDEAM. En estos procedimientos se incluyen las actividades específicas para la recuperación, etiquetado, manipulación, control y preservación de las muestras, así como y formatos o registros de campo, listas de chequeo y etiquetado de las muestras.

Análisis de material particulado

Para el muestreo y análisis de material particulado se utilizan los siguientes estándares, reactivos y blancos de campo

Filtros. Los filtros de fibra de vidrio, sin aglutinante orgánico, exhiben al menos un 99,95 por ciento de eficacia (<0,05 por ciento de penetración) en partículas de humo de ftalato de dioctilo de 0,3 micrones. La prueba de eficiencia del filtro se debe realizar de acuerdo con el método ASTM D 2986-71, 78 o 95a (incorporado por referencia, ver §60.17). Los datos de prueba del programa de control de calidad del proveedor son suficientes para este propósito. En fuentes que contienen SO2 o SO3, el material del filtro debe ser de un tipo que no reaccione al SO2 o SO3. Se puede utilizar la referencia 10 en la sección 17.0 para seleccionar el filtro apropiado.

Sílica gel tipo indicador, malla 6 a 16. Si se usó anteriormente, seque a 175 °C (350 °F) durante 2 horas. Se puede usar nueva tal como se recibe. Alternativamente, se pueden usar otros tipos de desecantes (equivalentes o mejores).

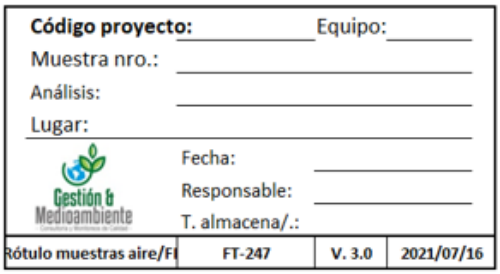
Agua. Cuando se requiera el análisis del material atrapado en los impactadores, se utilizará agua destilada desionizada con al menos <0,001 por ciento de residuo o según lo especificado en el

método aplicable que requiere análisis del agua. Ejecute blancos de reactivos antes de usarlos en el campo para eliminar un blanco alto en las muestras de prueba.

Recuperación de la muestra. Se requiere acetona, grado reactivo, ≤0,001 por ciento de residuo, en botellas de vidrio. La acetona de los recipientes metálicos generalmente tiene un alto nivel de residuos y no debe usarse. A veces, los proveedores transfieren acetona a botellas de vidrio desde recipientes de metal; por lo tanto, los blancos de acetona deben procesarse antes de su uso en el campo y solo se debe usar acetona con valores de blanco bajos (≤0,001 por ciento). En ningún caso se restará del peso de la muestra un valor en blanco superior al 0,001 por ciento del peso de acetona utilizada.

Las muestras se rotulan de acuerdo con los consecutivos del procedimiento interno de Gestión Y Medioambiente S.A.S. (ver Figura 9) Tras una inspección visual previa, cada filtro debe ser sometido a un proceso de acondicionamiento de 24 horas a condiciones ambiente controladas.
Los filtros son posteriormente pesados en la balanza analítica y por el método de gravimetría se determina el peso de la muestra recolectada. Cada filtro debe ser debidamente almacenado en una caja de Petri antes y después del análisis.

Figura 9. Rotulo para muestra



Fuente: Base de datos Gestión Y Medioambiente S.A.S

Para material particulado, se realiza el pesaje de filtro hasta peso constante (gravimetría), la diferencia entre los duplicados de cada pesaje no debe superar el 1% del pesaje inicial.

Análisis de la muestra

a) Contenedor Nro. 1 (Filtro)
- Se deja el contenido en el contenedor de transporte o se transfiere el filtro y cualquier material particulado del contenedor de la muestra a un vidrio reloj tarado.
- Se Deseca por 24 h.
- Se Pese hasta peso constante y se reportan los resultados con una precisión de 0,1 mg a Peso constante" significa una diferencia de no más de 0,5 mg o 1% del peso total menos el peso tarado, el que sea mayor, entre dos pesajes consecutivos, con no menos de 6h de desecación entre los pesajes (ver método alternativo)
- Durante cada pesaje, el periodo en el cual el filtro está expuesto a la atmósfera del laboratorio debe ser menor a 2 min.

b) Contenedor Nro. 2 (Enjuagues de Acetona)

- Se Verifica el nivel de líquido en el contenedor, se determinan las pérdidas (si hay alguna)
- Se Mide el líquido ya sea a ±1 ml o se pesa el líquido a ±0,5 g.
- Se Transfiere el contenido a un beaker de 250 ml tarado y evapore a sequedad a condiciones ambiente de presión y temperatura.
- Se Deseca por 24h hasta peso constante.
- Reporte los resultados con precisión de 0,1 mg.

c) Contenedor del "Blanco de Acetona"
- Se Mida la acetona en este contenedor ya sea volumétrica o gravimétricamente.
- Se Transfiere la acetona a un beaker de 250 ml tarado y evapore a sequedad a condiciones ambiente de presión y temperatura.
- Se Desecan por 24 h a peso constante.
- Se Reportan los resultados con precisión de 0,1 mg.

Procedimiento alternativo para pesaje

a) Contenedor No. 1 (Filtro) para el pesaje del filtro inicial y final
- Seque en un horno a 104 °C por 2 a 3 h y enfriar en un desecador por 2 horas.
- Pese la muestra y usar este dato como peso final.

b) Contenedor No. 2 y Blanco de Acetona
- Al blanco de acetona determine su volumen.
- Evapore a temperaturas mayores que la ambiente, pero inferiores al punto de ebullición del solvente.
- Para prevenir el burbujeo, supervise de cerca el proceso de evaporación; agite el contenido del beaker ocasionalmente para mantener una temperatura uniforme.
- Tenga cuidado extremo ya que la acetona es altamente inflamable y tiene un punto de ignición bajo.

Para material particulado, se realiza el pesaje de filtro hasta peso constante (gravimetría), la diferencia entre los duplicados de cada pesaje no debe superar el 1% del pesaje inicial. La balanza utilizada para las determinaciones (ver Tabla 7) tiene las siguientes características y su certificado de calibración se presenta en los Anexos:

Tabla 7. Información del equipo de pesaje

Nombre	Marca	Modelo	Serial	Código interno	Calibración más reciente
Balanza analítica	Sartorius	BCE224I-1S	0043204462	A059	2025-01-22

Fuente: *Gestión Y Medioambiente S.A.S 2025*

Análisis de dióxido de azufre

Para el muestreo y análisis de óxidos de azufre se utilizan los siguientes estándares, reactivos y blancos de campo

Peróxido de hidrógeno 3%. Agregue 10 ml de H_2O_2 al 30 % a 90 ml de agua. Prepárelo fresco todos los días.

Agua. Desionizada destilada ara cumplir con la especificación ASTM D 1193–77 o 91 Tipo 3. Para el aforo de las muestras.

Indicador de Thorin. Se requiere agregar unas gotas a las muestras para la titulación con isopropanol, da un cambio de color de amarillo a rosado (tipo salmón).
Isopropanol. Para la titulación y análisis de las muestras, se debe verificar los lotes de isopropanol con Yoduro de potasio, antes de usarlo.
Solución estándar de bario, 0,01 N. Para titulación y determinación del contenido de dióxido de azufre en las muestras.
Solución de ácido sulfúrico, 0,01 N comprado o estandarizado. Para la estandarización del cloruro de bario, cada vez que se realice el análisis
Solución patrón de ácido sulfúrico. Patrones con las siguientes concentraciones: Patrón alto 500 mg SO_2/l, patrón medio 200 mg SO_2/l, patrón bajo 10 mg SO_2/l (aproximadamente 2 veces el límite de cuantificación) y un último patrón correspondiente al límite de cuantificación del método de análisis.
Yoduro de potasio. Para verificar los lotes de isopropanol por impurezas de peróxido: Se agita 10 ml de isopropanol con 10 ml de solución recién preparada de yoduro de potasio al 10%. Prepare un blanco realizando un tratamiento similar con 10 ml de agua. Después de 1 minuto, lea la absorbancia a 352 nm con un espectrofotómetro, usando celda de 1 cm. Si la absorción es mayor a 0,1, se debe descartar el uso del alcohol.
Recuperación de la muestra. disponer de un contendor por cada corrida y transferir la muestra proveniente de los dos primeros impactadores de la siguiente forma:

- Si se va a determinar humedad, limpiar y pesar los tres primeros impactadores y registrar la información. Pesar el cuarto impactador con sílica gel y registrar el peso.
- Transferir las soluciones del primer, segundo y tercer impactador a una probeta de 1 litro.
- Enjuagar con agua todas las conexiones de cristalería desde el filtro hasta el cuarto impactador incluida la mitad posterior del soporte del filtro con porciones que sumen aproximadamente 750 ml de agua destilada.
- Añadir la solución de enjuague a la probeta.
- Diluir el contenido de la probeta (agua de lavado + solución de impactadores) hasta 950 ml con agua destilada y transferir al contenedor 1.
- Enjuague la probeta con 50 ml de agua y transferir al contenedor nro. 1.
- Sellar y marcar el nivel del líquido en el recipiente e identificar la muestra.

Análisis de la muestra

- Compare el nivel del líquido con la marca del nivel y descarte la muestra si ha perdido una considerable parte. Registre el volumen.
- Mezclar bien el contenido y pipetear una alícuota de 10 ml de muestra en un erlenmeyer de 250 ml.
- Añadir 40 ml de isopropanol al 100% y 2 a 4 gotas de indicador de Thorin.
- Titular a punto final rosa usando solución estándar de cloruro de bario 0,01 N.
- **Blancos:** preparar blancos adicionando 2 a 4 gotas de indicador de Thorin a una solución de 50 ml de isopropanol al 80%. Titular los blancos de la misma forma que las muestras.
- **Estándar:** tomar una alícuota de 10 ml de estándar de ácido sulfúrico que contiene 500 mg de SO_2, agregar 40 ml de isopropanol al 100% y 2 a 4 gotas de Thorin; titular a punto final rosa usando solución de cloruro de bario 0,01 N. Repetir la titulación con una segunda alícuota y promediar los valores obtenidos. Calcular la cantidad de SO_2.
- CONTROL DE CALIDAD: Repetir la titulación con una segunda alícuota y promediar los valores obtenidos. Las réplicas de las titulaciones deben coincidir dentro del 1% o 0,2 ml, registrando el valor mayor.

6 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para asegurar el control y la calidad de cada una de las muestras recolectadas en campo, se cuenta con diferentes procedimientos para su recuperación, etiquetado, manipulación, control, preservación, análisis y almacenamiento, estos se describen a continuación.

Descripción del proceso de manipulación. La manipulación se realiza dependiendo del tipo de análisis y su procedimiento esta descrito en cada uno de los instructivos. En dichos instructivos además de describirse el procedimiento, se especifican su objetivo, alcance, definición, interferencias posibles, equipos, reactivos utilizados, calibración de equipos, los cálculos a realizar y el tratamiento de la solución residual.

Descripción del proceso de control. Después de que las pruebas preliminares dieron como resultado una precisión satisfactoria, se verifican en forma continua (rutinaria) que siempre se está cumpliendo con las metas trazadas. Con este fin se controla la exactitud, la certeza y la precisión.

Descripción del proceso de preservación de la muestra. Los analistas entregan al personal de campo las soluciones y reactivos que sean necesarios para la preservación de muestras y lo registran en el registran en el control de preparación de reactivos o insumos.

Descripción del proceso de análisis. Los análisis requeridos los realiza el analista de acuerdo al periodo de preservación de la muestra siguiendo las especificaciones del instructivo correspondiente, en caso de no poder realizar los análisis inmediatamente, el analista guarda la muestra a 4ºC teniendo en cuenta su instructivo para la preservación.

Descripción del proceso de almacenamiento: Las muestras se preservan de acuerdo al instructivo de los análisis requeridos y se guarda en la nevera a 4°C. El almacenamiento dentro de la nevera se hace según el tipo de muestra que llegue teniendo en cuenta su clasificación interna. La muestra remanente se guarda en la nevera por el analista durante 15 días después de entregado el informe.

En el **Anexo 1. Formatos de Campo** se consignan toda la cadena de registros que permiten mantener la trazabilidad de las mediciones y el cumplimiento de los controles de calidad especificados. Entre ellos se encuentran:

- FT-02-032 Muestreo de Fuentes Fijas
- FT-02-050 Cadena de custodia Fuentes Fijas

7 EQUIPOS DE CALIBRACIÓN EXTERNA Y VERIFICACIÓN EN EL LABORATORIO

Los certificados de calibración se encuentran reportados en el **Anexo 06,** donde se especifica la información relacionada con el instrumento calibrado. Adicionalmente, se realizan actividades de verificación en las instalaciones de Gestión Y Medioambiente S.A.S. y/o en campo, de acuerdo con las características de los equipos y los requerimientos de cada uno de los procesos implementados. Los equipos sometidos a verificación se presentan en la Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 8. Verificación de equipos

Verificación de equipos			
Equipo	Especificaciones de calibración	Frecuencia de calibración	Código equipo
Juego de boquillas acero	Verificación antes de uso	N/A	M065
Tubo pitot	Verificación antes de uso	N/A	M065
Cordón umbilical	Termopar STACK	Anual	M065
	Termopar PROBE		
	Termopar FILTER		
	Termopar EXIT		
	Termopar AUX		
	Termopar DMG		

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

Tabla 9. Calibración externa de equipos de fuentes fijas

Calibración externa de equipos de fuentes fijas			
Equipo	Especificaciones de calibración	Frecuencia de calibración	Código equipo
Consola c-5000 Environmental Supply Company, INC	Termopar STACK	Anual	M065
	Termopar PROBE		
	Termopar FILTER		
	Termopar EXIT		
	Termopar AUX		
	Termopar DMG		
	Termopar AUX		
Medidor de gas seco		Anual	18379396
Pie de rey	-	Anual	M128
Kit de orificios críticos	Orificio No.11, 16, 18, 24 y 28	Anual	M071
Barómetro digital	-	Bienal	M069
Balanza Lexus	-	Anual	M143
Balanza Sartorius	-	Anual	A059

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

Para las determinaciones se siguieron los métodos 1 al 5 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). Antes de las mediciones se realiza la calibración de la consola (medidor de gas seco) por medio de un set de orificios certificados, la calibración se realiza según el procedimiento del método 5 de la USEPA.

La calibración y verificación del sistema para los métodos del 1 al 5 fue realizada el 22 de diciembre de 2025, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Coeficiente del medidor de gas seco “Y Promedio” = 1,031
- Constante del orificio del medidor “ΔH@” = 41,91 mmH2O

El personal encargado de las mediciones se muestra en la Tabla 10:

Tabla 10. Personal encargado de los monitoreos

Nombre	Cargo	Profesión
DANIEL VELANDIA RODRIGUEZ	PROFESIONAL DE CAMPO	Ingeniero Ambiental
CRISTHIAN ESLEYDER FUENTES	PROFESIONAL DE CAMPO	Ingeniero Ambiental

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

Según lo establecido en el método 5 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-3, se determinó factor Yc (factor Y de chequeo) para la verificación de la consola (medidor de gas seco) cada vez que se instaló de nuevo el equipo para mediciones isocinéticas consecutivas y en sitios a condiciones meteorológicas similares. El factor Yc debe estar dentro de un rango de manera que si el resultado es válido pueden emplearse los factores “Y Promedio” y “ΔH@” de la verificación inicial de la consola para las mediciones isocinéticas posteriores. Lo anterior se explica porque la cabeza de presión rige el funcionamiento de la bomba del equipo y esta cabeza de presión es a su vez función de la presión atmosférica la cual no varía de forma significativamente a menos que se presenten grandes variaciones de altura.

Seguido de la calibración se precisó la localización del sitio de muestreo y luego se determinó la distribución y número de puntos a muestrear por diámetro interno de chimenea según el método 1 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1. Posteriormente se realizaron de manera paralela los métodos 2 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 (que consiste en la determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas o ductos con tubo Pitot) y método 4 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 (que consiste en la determinación del contenido de humedad en los gases de la chimenea), para conocer las condiciones de trabajo, estableciendo así los parámetros necesarios y obtener condiciones de isocinetismo.

Precisadas las condiciones de trabajo se procedió a realizar el muestreo definitivo en cada punto en que se dividió hipotéticamente el diámetro del ducto de la chimenea. El porcentaje de Isocinetismo determinó la validez de los muestreos (los resultados de isocinetismo se pueden observar en el Anexo 2 de hojas de cálculo). Se aceptan como muestreos isocinéticos válidos aquellos cuyos porcentajes se encuentren entre 90% y 110%.

8 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El proceso de mantenimiento se ejecuta siguiendo el procedimiento interno **PR-117 Gestión mantenimiento y calibración de equipos.** Cada equipo cuenta con una hoja de vida (**FT-301**) en medio físico la cual contiene toda la información relevante de los equipos y patrones de referencia, donde se incluye identificación interna del equipo y su software; nombre del fabricante, modelo, serie; ubicación actual, cuando corresponda; instrucciones del fabricante o la referencia a su ubicación; las fechas, los resultados y las copias de los informes y de los certificados de todas las calibraciones, los ajustes, los criterios de aceptación, y la fecha prevista de la próxima calibración; plan de mantenimiento, cuando corresponda, y el mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha; todo daño, mal funcionamiento, modificación o reparación del equipo, con sus soportes y certificados de calibración. La hoja de vida se establece como herramienta básica de consulta y seguimiento del equipo, vigencia de garantías y su desempeño.

De acuerdo con las necesidades del laboratorio se diseña y aplica un plan de calibración y mantenimiento que busca fortalecer al laboratorio en aspectos técnicos y lograr una disminución de los costos a través de una gestión oportuna.

Cada equipo y patrón de referencia cuenta con una hoja de vida donde se describe el nombre y los detalles técnicos y de funcionamiento, además se especifica la cantidad de calibraciones y mantenimientos realizados. También se puede observar un uso recargado no planeado de algún equipo que requiera mantenimiento y/o calibración.

El Plan de calibración y mantenimiento se divide según los equipos o patrones de referencia a calibrar (**FT-156**), en éste se establece el listado de equipos, códigos y las fechas de su ejecución para verificar el mantenimiento y/o calibración.

Una vez acordado los equipos a calibrar y los laboratorios que prestarán el servicio, la solicitud de servicio se sustenta con la requisición (FT-139 Requisición general) elaborada por el director técnico o en su ausencia, la directora de calidad. La gerente asigna el presupuesto para este trabajo y envío de equipos. Una vez realizado el mantenimiento o la calibración se verifica el funcionamiento de los equipos a satisfacción para dar el ingreso y permitir el uso nuevamente; se recibe el informe de mantenimiento y/o el certificado de calibración, con todas las especificaciones. Finalmente, se registra en la hoja de vida del equipo.

La calibración de equipos y patrones de referencia es subcontratada con organismos externos acreditados que garanticen la trazabilidad de las medidas al sistema internacional de unidades (SI). Los pasos para asegurar el adecuado mantenimiento de equipos y su oportuna calibración por organismos externos, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 11. Procedimiento de mantenimiento y calibración

ID	Actividad	Descripción	Responsable	Registros
1.	Actualizar listado de equipos	Realizar el listado de equipos que deben ser calibrados y los patrones utilizados.	Director técnico	FT-156 Plan de mantenimiento y calibración
2.	Frecuencia de calibración y mantenimiento	Determinar la frecuencia de calibración y mantenimiento, según lo especificado en el programa de mantenimiento y calibración de equipos, patrones de referencia y materiales de referencia PG-104.	Director técnico Directora de calidad	FT-301 Hojas de vida de los equipos
3.	Control y seguimiento de equipos	Controlar el funcionamiento de los equipos, variaciones notables en las mediciones, tendencias; además efectuar una revisión para determinar las fallas o necesidades de ejecutar el mantenimiento y/o calibración.	Director técnico Directora de calidad	FT-301 Hojas de vida de los equipos
4.	Plan de mantenimiento	Controlar la programación de mantenimiento y calibración	Director técnico	FT-156
5.	Equipos con fallas o averías	En caso de que el equipo presente fallas, colocar en un lugar visible del equipo una etiqueta “Equipo fuera de servicio”, por mantenimiento, reparación, calibración u otros. Diligenciar la ficha de reporte de fallas.	Director técnico	FT-242 Ficha de gestión de fallas de equipos
6.	Solicitud de reparación	Gestionar los requerimientos para poner el equipo en funcionamiento, en cuanto a repuestos, ajustes, calibración o mantenimiento especializado	Director técnico	FT-139 Requisición general FT-173 Requisición de servicios
7.	Ajuste de equipos	Si es el caso, realizar los ajustes necesarios al equipo para ponerlo en funcionamiento teniendo en cuenta el Manual de manejo y funcionamiento de equipos, y registrar en la hoja de vida del equipo.	Director técnico	FT-301 Hoja de vida de equipos
8.	Solicitud de garantía	Si no se puede, poner en funcionamiento el equipo, verificar la garantía, y si está vigente, comunicar con el proveedor para solicitar la revisión y reparación.	Director técnico, Gerente	Garantía FT-173 Requisición de servicios
9.	Solicitud cotización	En el caso de que se deba contratar el mantenimiento, por fuera de la garantía, solicitar cotizaciones de mantenimiento preventivo o correctivo del equipo, calibración, al proveedor del equipo o empresa externa, a través de oficio o correo electrónico.	Director técnico, Profesional de apoyo administrativo	Propuesta económica del proveedor del servicio
10.	Disponibilidad de recursos	Verificar la disponibilidad presupuestal y la programación del mantenimiento, según corresponda, determinar la viabilidad y gestionar los recursos necesarios. Y autoriza la requisición de servicio	Gerente	FT-173 Requisición de servicios
11.	Contratación del servicio	Realizar la contratación correspondiente del servicio. Establecer con el proveedor si el mantenimiento o calibración se llevará a cabo en las instalaciones del laboratorio o fuera de ella.	Director técnico, Gerente	FT-140 Orden de compra o Contrato
12.	Mantenimiento fuera del Laboratorio	Si el mantenimiento se realiza fuera del laboratorio, elaborar un *oficio remisorio* (FT-243 Remisión de equipos), para el traslado de los equipos, donde especifique el total de piezas que son enviadas. Diligenciar el formato de salida de equipos.	Director técnico	FT-213 Salida de equipos para mantenimiento, reparación o calibración. Oficio remisorio FT-243.

ID	Actividad	Descripción	Responsable	Registros
13.	Realización del servicio en el Laboratorio	Si el mantenimiento o calibración se realiza en las instalaciones del Laboratorio, coordinar con el proveedor la fecha de realización del servicio según periodo de ejecución estipulada y los recursos necesarios para su ejecución.	Director técnico	NA
14.	Verificar servicio	Terminada la reparación, mantenimiento o calibración, recibir el equipo (diligenciar el formato FT-213), comprobar su buen funcionamiento y solicitar al proveedor del servicio, el respectivo informe de mantenimiento, reparación y el certificado de calibración. Terminar el diligenciamiento de la ficha de gestión de fallas (FT-242) y adjuntarla a la hoja de vida del equipo.	Director técnico	FT-213 Salida de equipos Informe de mantenimiento o certificado de calibración Certificado de cumplimiento. FT-242 Ficha de gestión de fallas
15.	Actualización hoja de vida del equipo	Relacionar los antecedentes de la reparación, mantenimiento y calibración, en la hoja de vida del equipo correspondiente. Archivar los informes de mantenimiento y/o calibración en la hoja de vida del equipo como soporte	Director de calidad	FT-301 Hoja de vida actualizada Soportes

Los patrones y materiales de referencia que utiliza el laboratorio Gestión Y medioambiente S.A.S para el desarrollo de sus actividades de muestreo y análisis se nombran en las siguientes tablas.

Tabla 12. Procedimiento de verificación de patrones y materiales de referencia

Patrón	Uso	Frecuencia de uso	Frecuencia de calibración o verificación externa
Pesas certificadas 0,5 g, 50 g y 200 g	Para verificar pesaje de la balanza analítica	Se hace cada vez que se va a usar por primera vez en un día y antes de hacer pesaje	Anualmente
Termómetro patrón	Para verificar otros termómetros	Cada vez que se va a verificar otro termómetro que no está calibrado	Anualmente
Kit de orificios críticos para equipo isocinético	Para verificar el factor gamma y ΔH@	Cada vez que se va a utilizar la consola	Anualmente
Simulador de termocuplas	Verificar el adecuado funcionamiento de los termopares del equipo isocinético	Cada vez que se va a utilizar la consola	Anualmente
Material de referencia	Uso	Frecuencia de uso	
Mezcla certificada de CO_2-O_2 3%-15%-3%	Verificación equipo Orsat para fuentes fijas	Se hace en campo al inicio del uso del Orsat	

Todos los materiales de referencia recibidos por el laboratorio vienen acompañados de su respectivo certificado de análisis o certificado de conformidad, los cuales garantizan que los materiales han sido debidamente preparados y su composición analizada (por comparación directa) con materiales de referencia estándar primarios (SRM) de entidades como el NIST[1] y PTB[2].

Así mismo los patrones tienen su respectivo certificado de calibración vigente que indican su

[1] National institute of standards and technology
[2] Physikalish-Technische bundesanstals

incertidumbre y estado para usarlos en la verificación de los equipos. La adecuada aplicación del numeral 10, del programa de mantenimiento y calibración de equipos, patrones y materiales de referencia (PG-104) referido al almacenamiento, manipulación y transporte de materiales de referencia, garantiza que los mismos conserven sus propiedades durante el tiempo de uso y hasta su fecha de vencimiento.

Por otra parte, cada vez que los materiales de referencia o los patrones son usados para las verificaciones de los equipos, los resultados alimentan las cartas de control donde se establecen los límites de alerta y acción, contra los cuales se comparan las lecturas y que llevan a identificar desviaciones de los límites aceptados, lo que lleva tomar acciones, ya que los materiales de referencia pueden haber perdido sus propiedades y deben ser reemplazados, o los patrones deben ser recalibrados. Las verificaciones intermedias de los materiales de referencia por parte de los proveedores, no resultan ser técnica ni económicamente posibles, ya que, por las técnicas aplicables a la determinación de la composición de los materiales, sería más factible adquirir un nuevo material de referencia con su respectivo certificado de análisis o de conformidad.

9 VALIDACIÓN DE DATOS Y LISTA DE CHEQUEO

Para validar los datos suministrados tras la medición se sigue como lo indica la **Tabla 13.**

Tabla 13. Procedimiento para validación de datos

ACTIVIDAD	Sí	No
Comparación de los datos diligenciados en campo y los enviados en digital	X	
Visita preliminar o de inspección	X	
Verificación del % de Isocinetismo	X	
Verificación de variables de calibración (dentro del rango de calibración)	X	
Verificar que no falte información en los formatos de campo y que sea veraz	X	
Personal que ejecuta la validación de datos	Ingeniero consultor y líder de campo	

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

10 AUDITORIA DE LA MEDICIÓN

Los chequeos realizados antes, durante y después de la medición son satisfactorios, los datos de campo fueron verificados y no se obtuvieron hallazgos para las mediciones que se reportan en este informe.

11 REPORTE DE ERRORES

Durante el muestreo y el tiempo posterior a la medición, no se reportan errores por pérdida o alteración de la muestra, los filtros se encontraban en buen estado, se realizó el lavado de sonda en cada determinación, los reactivos usados fueron del grado de pureza adecuado y no se presentaron eventos que provocaran pérdida o contaminación de las muestras. El porcentaje de isocinetismo se mantuvo dentro de los rangos establecidos, todos los equipos y procedimientos usados se encuentran acordes a las exigencias de los métodos citados y las muestras fueron tomadas a un porcentaje de operación acorde con las exigencias de la Resolución 909 de 2008 del MAVDT. El laboratorio no reporta errores durante el análisis.

12 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos del estudio realizado en la fuente fija (Caldera Acuopirotubular de 350 BHP), corresponden a las condiciones de operación, fecha y hora en las que fueron desarrolladas las actividades relacionadas. Así mismo, los análisis realizados, corresponden a las muestras recolectadas durante los muestreos. En las Tabla 14 y Tabla 15 se muestra un compendio de los parámetros operativos y condiciones de la fuente evaluada.

Tabla 14. Resultados de MP – Caldera Acuopirotubular de 350 BHP

CALDERA ACUOPIROTUBULAR 350 BHP					
Muestreo #	*No*	1	2	3	**PROMEDIO**
Fecha	*dd/mm/aaaa*	22/12/2025	22/12/2025	23/12/2025	
Hora de Inicio	*hh:mm*	14:12	15:52	9:23	
Hora de Terminar	*hh:mm*	15:16	16:56	10:27	
Corridas	*No*	R1-MP	R2-MP	R3-MP	
Volumen Estándar Total del Medidor	*(V_m) m^3*	0,9138	0,9469	0,9317	0,9308
Tiempo Total del Muestreo	*min*	64	64	64	64
Temperatura Promedio del Medidor	*$(t_m)_{avg}$ °C*	31,34	30,34	27,35	29,67
Temperatura promedio de la Chimenea	*$(t_s)_{avg}$ °C*	161,15	180,78	176,78	172,90
Presión de los gases de salida	*(mmHg)*	640,50	640,50	640,50	640,50
Contenido de Humedad Reportada	*(B_{ws}) %*	3,22%	3,14%	2,99%	3,12%
Velocidad Promedio del Gas	*(v_s) m/s*	28,1244	30,6496	30,2480	29,6740
Área transversal de la Chimenea	*(A_s)*	0,24			
Rata de Flujo Actual en la Chimen.	*(Q_a) acmm*	400,9	436,9	431,2	423,0
Porcentaje de Isocinetismo	*(I) %*	104,7	104,2	102,8	103,9
Masa de Partículas en el Filtro	*(m_f) g*	0,0219	0,0289	0,0280	0,0263
Masa de Partículas en la Acetona	*(m_a') g*	0,0199	0,0182	0,0127	0,0169
Masa de Partículas en el Blanco	*(W_a) g*	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Masa Total de Partículas	*(m_n) g*	0,0417	0,0471	0,0407	0,0432
Caudal Cond Referencia	*(m3/min)*	224,18	233,94	233,30	230,47
Concentración de Partículas en Chimenea (a condiciones de referencia)	*c_s) mg/dscm*	44,87	48,91	42,95	45,58
Oxígeno	*%*	11,2	10,8	11,3	11,1
Concentración de Partículas en Chimenea (a condiciones de referencia y oxígeno de referencia)	*(c_s) mg/dscm*	45,78	48,13	44,14	46,02
		46,02			
Incertidumbre de la medición	*U*	3,91	4,10	3,77	6,81
Flujo de contaminante	*(FC) kg/h*	0,60	0,69	0,60	0,63

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

Tabla 15. Resultados de SO_2 – Caldera Acuopirotubular de 350 BHP

VARIABLES	NOMENCLATURA	UNIDADES	MUESTREO		
			R-1	R-2	R-3
Normalidad del titulante estándar de BaCl2.	*N*	*Equiv.- g / mL*	0,00960	0,00960	0,00960
Volumen de alícuota de muestra titulada, ml	*Va*	*mL*	10	10	10
Volumen total de solución en el que está contenida la muestra	*Vsoln*	*mL*	1000	1000	1000
Volumen del titulante estándar de bario usado para la muestra	*Vt*	*mL*	6,995	11,170	9,305
Volumen del titulante estándar de bario usado para el blanco, ml	*Vtb*	*mL*	0,065	0,065	0,065
Volumen de la muestra, gas, a condiciones locales	*Vm*	*m3*	0,9138	0,9469	0,9317
Concentración de SO_2 a condiciones estándar	*Cstd*	*mg/m3*	229,28	354,58	299,83
Oxígeno	*O2*	*%*	11,2	10,8	11,3
Concentración de SO_2 a condiciones de referencia y oxígeno del 11%	*Cstd*	*mg/m3*	233,93	348,95	308,13
Promedio	*Cstd*	*mg/m3*	297,00		
Rata de Emisión de Partículas	(E)	*Kg/h*	3,08	4,98	4,20
Promedio	*Cstd*	*Kg/h*	4,09		

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

Tabla 16. Resultados NO_X – Caldera Acuopirotubular de 350 BHP

# Balón	Volumen de la muestra	Masa de NOx como NO_2	Oxigeno promedio en chimenea	Concentración NOx a condiciones normales y O_{2ref}	Incertidumbre expandida	Flujo Contaminante
	Vsc	*M*	*%O_2*	*C*	U	*Fc*
	(ml)	*(µg)*	*%*	*(mg/m³)*	[mg/m³]	*Kg/h*
17	1548,7	259,00	10,60	160,8	16,40	2,55
18	1638,6	252,56	10,00	140,1	14,29	2,35
19	1464,5	239,67	11,20	167,0	17,03	2,49
20	1423,5	238,38	10,80	164,2	16,75	2,55
Promedio			**10,65**	**158,02**	16,12	**2,48**

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S, 2025

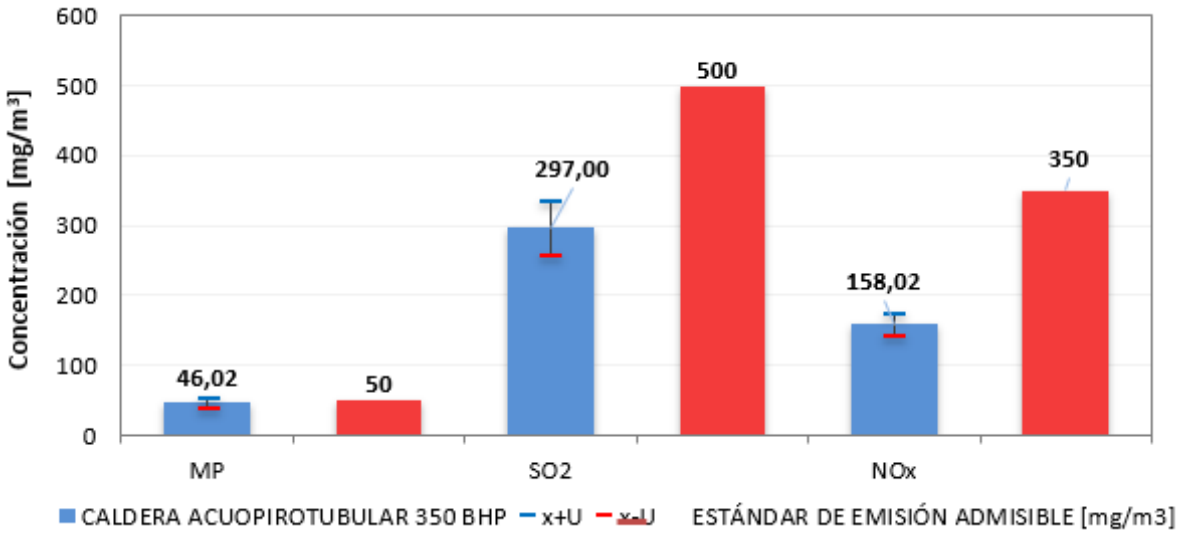
De esta manera, en la **Tabla 17** se presentan los resultados de concentración para cada muestreo definitivo para los cuales se realizó medición por triplicado y el valor promedio respectivo, y finalmente las unidades de contaminación ambiental (U.C.A) que definen el grado de significancia del aporte del contaminante y la frecuencia del monitoreo.

Tabla 17. Resultados consolidados de parámetros evaluados

Fuente	Contaminante evaluado	Concentración a condiciones de referencia (Ex) mg/m3	Estándar de emisión admisible** Nx (mg/m3)	Cumplimiento	UCA (Ex/Nx)	Grado de significancia y frecuencia de monitoreo
CALDERA ACUOPIROTUBULAR DE 350 BHP	MP	46,02	50	CUMPLE	0,92	Medio (1 año)
	SO2	297,00	500	CUMPLE	0,59	Medio (1 año)
	NOx	158,02	350	CUMPLE	0,45	Bajo (2 años)

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025
**ART. 8° DE LA RES.909 / 2008

Gráfico 1. Consolidado concentraciones



Fuente Gestión Y Medioambiente S.A.S., 2025

13 REPORTE PARA REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL (RUA)

En la siguiente tabla (**Tabla 18**) se presenta un resumen de variables y resultados requeridos para el diligenciamiento de información en el RUA para el periodo correspondiente.

Tabla 18. Registro único ambiental (RUA)

REGISTRO UNICO AMBIENTAL - RUA		
Fuente		Caldera Acuopirotubular de 350 BHP
Latitud (Norte)		4°49'33''
Longitud (Este)		75°41'54''
Altitud (msnm)		1430
Tipo de fuente fija		Circular
Altura de la descarga		23,86
Diámetro del ducto circular (m)		0,55
Longitud del ducto rectangular (m)		NA
MEDICIONES DE PARAMETROS		
Procedimiento de determinación Métodos EPA		US-EPA: Métodos 1,2,3A, 4, 5, 6 y 7
Nombre de la empresa y laboratorios que realizan el estudio		GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S.
Fecha del muestreo		22 al 23 de diciembre de 2025
Oxígeno en los gases de salida (% de Volumen)		11,102
Humedad en los gases de salida (% Volumen)		3,1
Flujo volumétrico gases de salida (condiciones de referencia, m3/min)		230,47
Velocidad de los gases de salida (m/s)		29,67
Temperatura de los gases de salida (°C)		172,90
Presión de los gases de salida (mmHg)		640,50
EMISIONES A LA ATMOSFERA CONCENTRACION Y FLUJO MASICO		
Material Particulado (MP)	Concentración (mg /m^3std)	46,02
	Flujo másico (Kg/h)	0,63
Dióxido de Azufre (SO_2)	Concentración (mg /m^3std)	297,00
	Flujo másico (Kg/h)	4,09
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	Concentración (mg /m^3std)	158,02
	Flujo másico (Kg/h)	2,48

Fuente: Gestión Y Medioambiente S.A.S 2025

14 CONCLUSIONES

Según los resultados del monitoreo isocinético de las emisiones atmosféricas, efectuadas por personal competente y debidamente acreditado ante el IDEAM, cumpliendo así con todos los requisitos establecidos en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generadas por Fuentes Fijas, se concluye que la fuente fija evaluada (caldera acuopirotubular de 350 BHP) en la empresa CORRUGADOS DE RISARALDA S.A.S., **CUMPLE** con los estándares de emisión admisibles para actividad industrial, a condiciones de referencia (25ºC, 760 mmHg) para los contaminantes: Material Particulado (MP), dióxidos de azufre (SO_2) y Óxidos de Nitrógeno (NOx).

Según la aplicación de la metodología establecida en la sección 3.2 del Protocolo para Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por Fuentes Fijas, se calcularon las Unidades de Contaminación Atmosféricas (UCA) y la frecuencia de medición, arrojando como resultado un grado de significancia MEDIO con una frecuencia de monitoreo cada año tanto para material particulado (MP) como para dióxido de azufre (SO_2) y un grado de significancia BAJO con una frecuencia de monitoreo cada dos (2) años para óxidos de nitrógeno (NOx) .

Se recomienda realizar mantenimientos preventivos periódicamente al ducto y el sistema de control de emisiones con el fin de evitar posibles fallas de retención y de ser necesario realizar ajustes para lograr una adecuada captura de material particulado, asimismo se debe realizar seguimiento a la cantidad de emisión de MP y SO_2 generada por la fuente, con el propósito de establecer la eficiencia y condición real de operación del sistema de control instalado. Adicionalmente tener en cuenta que el personal que opere y/o realice mantenimiento, debe ser competente y estar en la capacidad de reconocer anomalías en el buen funcionamiento de los sistemas, nivel de perdida de carga, caudal, temperatura, humedad entre otros que presente el estudio.

Tener presente la frecuencia de evaluación de emisiones atmosféricas calculada, con el fin de evitar el incumplimiento en las mediciones periódicas que establece la normatividad ambiental, teniendo en cuenta la conservación de la infraestructura necesaria para los monitoreos (ductos, niples, plataforma, conexión de energía, entre otros).

15 REFERENCIAS

United States Environmental Protection Agency. *http://www.epa.gov* AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1 External Combustion Source.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Resolución 0760 del 20 de abril de 2010, por la cual se adopta el Protocolo Para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Bogotá; 2010

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Resolución 909 del 05 de junio de 2008, Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Protocolo Para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Versión 2.0. Bogotá; 2010.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS) Resolución 2153 del 02 de Noviembre de 2010, "Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Resolución 1632 del 21 de septiembre de 2012, por la cual se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica.

---------- **FIN DEL INFORME** ----------

En constancia de lo anterior se firma el presente informe bajo la responsabilidad expresa de quien lo suscribe, a los quince (27) días del mes de enero del año 2026.

ESTE INFORME ES VÁLIDO PARA LOS MONITOREOS Y/O MEDICIONES REGISTRADOS Y ANALIZADOS SUSCRITOS EN ÉL.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN PREVIA DE LA DIRECCIÓN DEL LABORATORIO DE GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S.

Gestión & Medioambiente
NIT 900.492.960-0

César Augusto Castañeda
Director técnico

Gestión & Medioambiente
NIT 900.492.960-0

Diana Lucía Castrillón Monroy
Directora de Calidad