

Mejoramiento del proceso de medición de la calidad del aire para el caso del So<sub>2</sub>  
en la empresa Conhintec S.A.S. mediante el control de temperatura por refrigeración.

Helber Rene Laverde

Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director:

MSc. Gabriel Jaime Rivera León

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Cadena de Industrial

Medellín

2021

## Resumen

Este proyecto, se pretende mejorar el proceso de medición de la calidad del aire para el caso del  $\text{So}_2$  en la empresa Conhintec S.A.S. mediante el control de temperatura por refrigeración donde después de un análisis detallado de los datos arrojados por los equipos de medición utilizados para la toma de muestra del  $\text{So}_2$  manual, se evidencia un alto número de muestras descartadas por cada proyecto debido a que el equipo no logra cumplir con las especificaciones técnicas necesarias solicitadas por los métodos de referencia utilizados, donde se requiere que se logren cumplimientos de temperatura en la muestra de  $\text{So}_2$  entre  $15 \pm 10^\circ\text{C}$  durante un periodo de muestreo de 24 horas  $\pm 1$  el no cumplimiento de estos parámetros en el momento que se recupera la muestra para ser llevada al laboratorio genera altos costos de reproceso al extender este tipo de proyectos, costos que son asumidos en su totalidad por la empresa Conhintec S.A.S. generando pérdidas representativas ya que este tipo de proyecto manejan costos demasiado elevados para su ejecución.

Finalmente, después de una revisión minuciosa de cada uno de los componentes que integran el equipo de monitoreo (Tres Gases) se evidenciaron varias oportunidades de mejora y se planteó un nuevo diseño en la etapa de refrigeración con nuevos componentes eléctricos, los cuales estarán encargados de garantizar las condiciones necesarias solicitadas para la validación de muestras de  $\text{So}_2$  logrando dar solución a la problemática.

## Tabla de contenido

Resumen.....	2
Palabras y definiciones claves .....	5
Introducción .....	8
Planteamiento del problema.....	9
Justificación .....	11
Objetivos.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos .....	12
El proceso de medición de la calidad del aire.....	13
Medición de la calidad del aire para el caso del SO2 manual .....	19
El proceso de medición de la calidad del aire en la empresa Conhintec S.A.S .....	25
Propuesta de mejora del proceso de medición de la calidad del aire para el caso del SO2 .....	34
Conclusiones.....	46
Referencias.....	47

## Tabla de figuras

Figura 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes.....	13
Figura 2. Monitor de Partículas T640.....	14
Figura 3. Monitor de Partículas T640 para Interiores.....	15
Figura 4. Analizadores Automáticos de Gases con Aprobación US-EPA.....	16
Figura 5. Esquema red de monitoreo de la calidad del aire (Área Metropolitana del valle de aburra) .....	17
Figura 6. Aplicación SIATA red de monitoreo valle de aburra.....	18
Figura 7. Diagrama de Flujo del Muestreo So <sub>2</sub> y Nox .....	19
Figura 8. Equipo muestreador de gases tipo Rack (Tres Gases.....	20
Figura 9. Calibración equipo muestreador de gases tipo Rack (Tres Gases).....	21
Figura 10. Burbujeadores Rack (Tres Gases) diseño anterior .....	23
Figura 11. Analizador de óxidos de azufre (So <sub>2</sub> y O <sub>3</sub> ) automáticos .....	24
Figura 12. Tubo burbujeador (Impingers) de SO <sub>2</sub> de EPA Pararrosalina .....	25
Figura 13. RAC, Con sistema de enfriamiento/calefacción. Bomba de succión. (Analizador de tres gases).....	26
Figura 14. Tubo de aluminio recubierto de espuma de poliuretano .....	27
Figura 15. Diagrama de Flujo Medición de calidad General Empresa Conhintec S.A.S.	28
Figura 16. Fuente de alimentación.....	29
Figura 17. Propuesta Diseño Interno Analizador Tres Gases.....	35
Figura 18. RAC, Con sistema de enfriamiento/calefacción. Bomba de succión. (Analizador de tres gases).....	41

### **Palabras y definiciones claves**

**Palabras Clave:** mejoramiento de procesos, medición de la calidad del aire, etapa de refrigeración, dióxido de azufre.

**SO<sub>2</sub> dióxido de azufre:** Gas incoloro e irritante, producto de la combustión de fósiles (Diesel, carbón) con alto contenido de azufre, al contacto con el aire produce dióxidos de azufre los cuales generan afectaciones de salud, y contaminación al medio ambiente.

**Emisión:** Descarga de sustancias o elementos al aire, ya sea en su estado sólido, líquido o gaseoso

**Fuente de Emisión:** proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

**Norma de Emisión:** valor de descarga permisible para sustancias contaminantes, establecido por la Autoridad ambiental competente.

**Muestreo:** Proceso por el cual se monitorea las concentraciones de SO<sub>2</sub> por un periodo de entre 18 a 24 días entre 24 horas  $\pm$  1 de manera continua.

**RAC:** Sistema de enfriamiento/calefacción. Bomba de succión. (Analizador de tres gases). Utilizado para la toma de muestra del SO<sub>2</sub> dióxido de azufre.

**Dispositivo control de temperatura (Etapa de refrigeración):** Utilizado para garantizar la temperatura de la solución absorbente durante la toma de la muestra la cual debe mantenerse a  $15 \pm 10$  ° C por un tiempo de 24 horas  $\pm 1$ .

**Temporizador:** Dispositivo encargado de encender el sistema de refrigeración cuando la temperatura este por encima de 25 ° C.

**Reactivo:** Solución absorbente de tetracloromercurato de potasio (TCM). Utilizada para la toma de muestra de dióxido de nitrógeno.

**Monóxido de carbono (CO):** Gas que se produce a causa de la combustión a bajas concentraciones de oxígeno, a causa de una combustión incompleta.

**Óxidos de Nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>):** El (NO<sub>x</sub>) es una mezcla de dos gases el óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** Gas muy reactivo presente en la atmósfera, indicador de la familia de los óxidos azufrados denominados, relacionado directamente con la acidez de la lluvia.

**Material Particulado (PM):** Compuesto por partículas sólidas o líquidas las cuales, debido a su tamaño, permanecen suspendidas en el aire.

**Impingers (Burbujeador):** recipiente en vidrio utilizado para la recolección de contaminantes peligrosos.

**Bomba Vacío:** Equipo diseñado para succionar gases de cualquier sistema.

**Silica Gel:** Producto granular echo de silicato solido utilizada para Absorción de la humedad.

**TMC:** Tetracloromercurato de potasio

## Introducción

Los monitoreos para el control de la contaminación atmosférica cada día obtienen mayor relevancia, esto asociado con las cifras que presenta la Organización Mundial de la Salud, donde según diferentes estudios realizados a lo largo de los últimos años cada ocho muertes ocurridas en todo el planeta están directamente relacionadas con la contaminación del aire y sus afectaciones. Por otro lado, el “Departamento Nacional de Planeación calculó que en el año 2015, los efectos de la mala calidad del aire estuvieron directamente asociados con 10.527 muertes , además de 67,8 millones de enfermedades”. (IDEAM, 2019) los costos ambientales generados a causa del incremento de la contaminación atmosférica en nuestro país, según (IDEAM, 2019) paso del 1,1% en 2009 al 1,93% en 2014, Evidenciando la necesidad de aumentar la capacidad de monitoreo en cuanto la calidad del aire, logrando evaluar las diferentes sustancias presentes en el aire generando datos en tiempo real, que apalanquen la toma de decisiones, y planes de acción enfocados en la conservación del medio ambiente y en la salud de sus habitantes.

Los últimos informes sobre el estado de la calidad del aire, elaborados por el Instituto, evidencian que el contaminante con mayor presencia y afectación a nivel nacional sigue siendo el Material Particulado Menor a 2,5 micras (PM2.5), al estar constituido por partículas demasiado pequeñas, las cuales son producidas principalmente por la combustión en los vehículos pesados que circular a diario y que utilizan diésel como combustible además de la actividad industrial presente generada por el hombre. (IDEAM, 2019)

## **Planteamiento del problema**

El empeoramiento de la calidad del aire en todo el valle del aburrá debido a las actividades industriales y a fuentes móviles (vehículos) que cada día aumenta sus desplazamientos dentro de la ciudad esto asociado con la topografía, y a las condiciones climáticas que se presentan en cuanto a temperatura, humedad y nubosidad influyen en la dispersión adecuada de los contaminantes generando afectaciones graves en la salud afectando principalmente el sistema respiratorio de las personas (Area Metropolitana Valle de Aburrá, 2020) La exposición de manera directa a grandes concentraciones de contaminación de manera constante y sin utilizar ningún tipo de protección genera diferentes enfermedades. Según un estudio realizado por la Contraloría de Medellín titulado “Cuantificación física y económica del impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la ciudad” de 2019, se evidencia que en la ciudad mueren alrededor de 4.500 personas al año por Enfermedades Respiratorias Agudas ERA, según este estudio la mayor parte de los casos ocurrieron en las zonas donde el flujo vehicular es muy alto. Para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), la cual es la autoridad encargada de monitorear los contaminantes atmosféricos, en Medellín y los municipios aledaños gracias al sistema de monitoreo con que se cuenta actualmente a lo largo de todo el valle del aburrá, se evidencia la presencia de altas concentraciones de elementos dañinos en el aire los cuales varían a causa de las condiciones ambientales que se presenten debido a que estos no permiten la dispersión adecuada de todos estos contaminantes nocivos para sus pobladores (Area Metropolitana Valle de Aburrá, 2020)

### Pregunta investigación

¿De qué manera se puede llegar a mejorar la etapa de refrigeración en la empresa CONHINTEC S.A.S. lo cual disminuya el número de muestras descartadas por no cumplir con los criterios de temperatura necesarios, al igual que los costos asociados con el consumo de energía y el alargue del proyecto por más de 18 días a causa del descarte de las muestras al no cumplir con los criterios de aceptación por temperatura descritos en el método de referencia?

## Justificación

El propósito de este proyecto es mejorar el funcionamiento de los controladores de temperatura para utilizados las etapas de refrigeración bajo la metodología del Método CFR 40, parte 50 Apéndice A-2. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos , 1992) todo esto debido a los costos económicos generados por extender los periodos de monitoreo a causa del descarte continuo de muestras que no cumplen con los parámetros de temperaturas exigidos por el método; la solución utilizada de (SO<sub>2</sub>: EPA Pararrosalina) al ser expuesta a altas temperaturas se degrada, por tal motivo se debe implementar una tapa de refrigeración el cual se encargue de mantener la solución de (EPA pararrosalina) con una temperatura entre 15 + 10°C durante un periodo de muestreo de 24 horas ± 1 dándole validez a la muestra para su análisis. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos , 1992)

Por lo descrito anteriormente, a través del presente proyecto se pretende obtener datos confiables sobre las concentraciones de dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) presentes en el aire. Los cuales puedan ser interpretados, y brinden las herramientas necesarias para la toma de decisiones logrando intervenir las fuentes de emisión, disminuyendo las concentraciones nocivas para todos los pobladores, además de disminuir los costos de operación generados durante los periodos de monitoreo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Mejorar el proceso de medición de la calidad del aire para el caso del  $\text{SO}_2$  de tal forma que se cumpla con la normatividad vigente.

### **Objetivos específicos**

- Realizar un diseño que mejore las etapas de refrigeración del proceso de medición de la calidad del aire, para el caso del  $\text{SO}_2$ , garantizando una temperatura entre  $15 \pm 10^\circ\text{C}$  durante un periodo de muestreo de 24 horas  $\pm 1$ .
- Realizar pruebas de monitoreo que evidencie el correcto funcionamiento de la etapa de refrigeración
- Obtener datos confiables y verídicos los cuales validen la toma de muestra y sus resultados.
- Evaluar los resultados obtenidos a partir de las mejoras realizadas.

## El proceso de medición de la calidad del aire

La calidad del aire cualquier ciudad se relaciona directamente con las numerosas actividades que esta desarrolla. La utilización de combustibles fósiles para transporte y la industria, la energía generada a través de centrales térmicas o simplemente la quema agrícola para la siembra de cultivos está generando grandes cantidades de contaminantes nocivos para la salud y el medio ambiente en que vivimos.

“El monitoreo, y control de la contaminación atmosférica cada día viene tomando una mayor importancia, esto soportado en cifras de la Organización Mundial de la Salud, donde la contaminación del aire es la causante de una de cada ocho muertes a nivel mundial”. (IDEAM, 2019)

*Figura 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes*

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM <sub>10</sub> *	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	70	Anual
		150	24 horas
SO <sub>2</sub>	ppm ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
NO <sub>2</sub>	ppm ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.053 (100)	Anual
		0.08 (150)	24 horas
		0.106 ( 200)	1 hora
O <sub>3</sub>	ppm ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.041 (80)	8 horas
		0.061 (120)	1 hora
CO	ppm ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	8.8 (10)	8 horas
		35 (40)	1 hora

Nota:  $\text{mg}/\text{m}^3$  o  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : a las condiciones de 298.15° K y 101.325 KPa. (25 °C y 760 mm Hg).  
 \* El límite máximo permisible anual de PM<sub>10</sub> en el año 2009 será 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en el año 2011 será 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Fuente:** Límite máximo de emisión permisible para el So2, para periodos de exposición horaria o anual. Tomada de (MAVDT, 2008, pág. 20)

“los principales contaminantes que se generan a partir de estas actividades, y que pueden afectar de manera directa la salud de las personas son Monóxido de carbono, Óxidos de Nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>, NOX), Dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) y MP”. (Intendencia Monte Video , 2020)

Actualmente existen diferentes equipos diseñados para el monitoreo, y control de los diferentes contaminantes de manera remota, el monitor de partículas T640 está en la capacidad de entregar datos de manera continua del nivel de particular en PM10, PM2,5 esto a través de la utilización de espectroscopia de banda ancha. (Sanambiente, 2019)

Además, el T640 cuenta con alta resolución, respuesta rápida, de bajo consumo de potencia y su operación no requiere de mayor esfuerzo. Al Poseer puerto Ethernet para comunicaciones TCP/IP, Modbus y software para control remoto del equipo, con pantalla táctil amigable con el usuario; adicionalmente, su memoria interna le permite al equipo almacenar información por más de un año. Cuenta con aprobación de la EPA para mediciones de PM10, PM2.5 y para realizar la medición de PM10-2.5 simultáneamente. (Sanambiente, 2019)

*Figura 2. Monitor de Partículas T640*



**Fuente:** Equipo para monitoreo de MP de manera automática, brinda datos en tiempo real de las concentraciones de Material Particulado presente en la zona. Tomada de (Sanambiente, 2019)

Equipos como Analizadores automáticos de gases con aprobación US-EPA disponible actualmente en el mercado permite el monitoreo en tiempo real lo cual se vuelve fundamental a la hora de analizar las concentraciones tanto en interiores como exteriores de SO<sub>2</sub>, NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, HC, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> presentes en el aire. (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2010)

Actualmente es posible determinar la calidad del aire en interiores con el uso de medidores de humedad, sensores de temperatura y CO<sub>2</sub> con el objetivo de garantizar condiciones de comodidad en las personas al interior de sus casa u oficina. Cuando la humedad relativa baja es muy baja en el aire de interiores, puede producir malestar en los seres humanos: dolor de cabeza, los ojos irritados, el dolor de garganta y la piel seca son algunos de los síntomas de un ambiente interior seco, el aire seco reduce la defensa natural contra las infecciones en el aire y hace que las personas estén vulnerables al ataque de los virus y otros microorganismos. (vaisala(Calidad del aire en interiores (IAQ)), 2021)

*Figura 3. Monitor de Partículas T640 para Interiores*



**Fuente:** Equipo utilizado para el monitoreo del So<sub>2</sub> en espacios en interiores. Tomada de (vaisala(Calidad del aire en interiores (IAQ)), 2021)

La mala calidad presente en el aire tiene un impacto negativo en el desarrollo social y económico, llegando a afectar la competitividad económica de los países. La contaminación del aire presenta actualmente es generada en su mayoría por la quema de combustibles fósiles

En este sentido los analizadores automáticos de gases se convierten en una pieza fundamental logrando medir en forma directa y en tiempo real la concentración de gases como SO<sub>2</sub>, NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, HC, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. Los analizadores para medición de gases criterios cuentan con aprobación US-EPA (Sanambiente, 2019)

El analizador de SO<sub>2</sub> de nivel de traza modelo T100U ha sido desarrollado específicamente para abordar los desafíos de la vigilancia de bajo nivel como se requiere, por ejemplo, en la red NCore de los Estados Unidos. Utiliza el principio probado de fluorescencia UV, y está diseñado para permitir mediciones ultra-sensibles de SO<sub>2</sub> mientras que aún cumple con los requisitos para su uso como analizador de conformidad con la EPA de los EE.UU. (directindustry(Analizador de gas T100U), 2021)

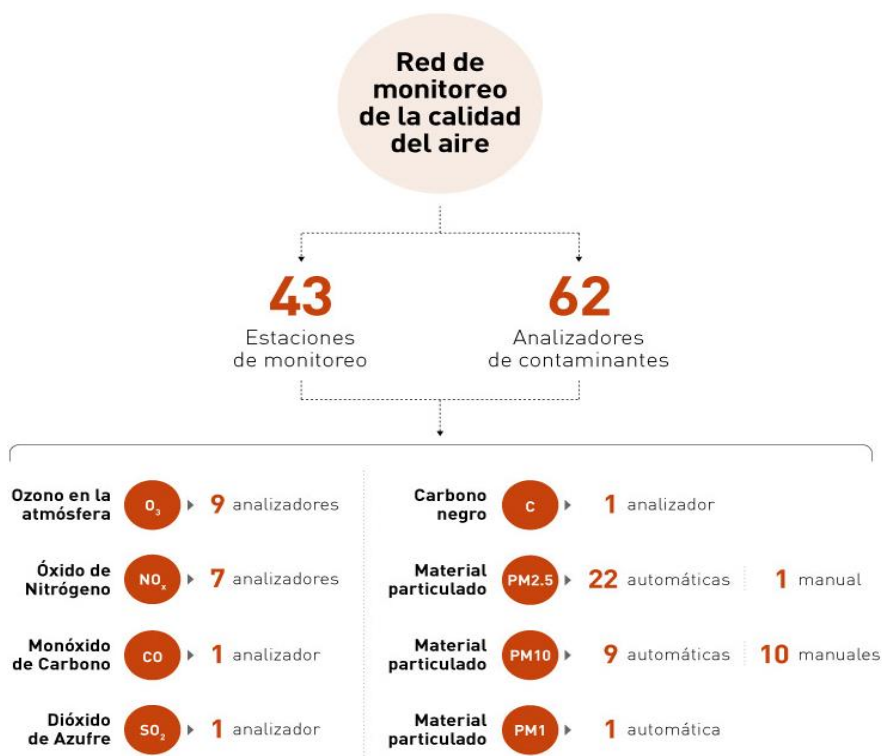
*Figura 4. Analizadores Automáticos de Gases con Aprobación US-EPA*



**Fuente:** Equipo para monitoreo de So<sub>2</sub> de manera automática, brinda datos en tiempo real de las concentraciones de So<sub>2</sub> presente en la zona. Tomada (directindustry(Analizador de gas T100U), 2021)

El área metropolitana del valle del aburra, la cual está compuesta por 10 municipios cuenta actualmente con una red de monitoreo de distintos contaminantes estos datos de las mediciones están disponibles para su consulta a través de la (SIATA, 2021), de manera pública y permiten que las alcaldías, el Área Metropolitana logre tomar decisiones de manera rápida, y acertada con el objetivo de salvaguardar la salud de diferentes grupos de personas, los cuales se ven afectados en mayor medida, cuando los índices de calidad del aire a lo largo del valle del aburra son nocivos para la salud. (Area Metropolitana Valle de Aburrá, 2020)

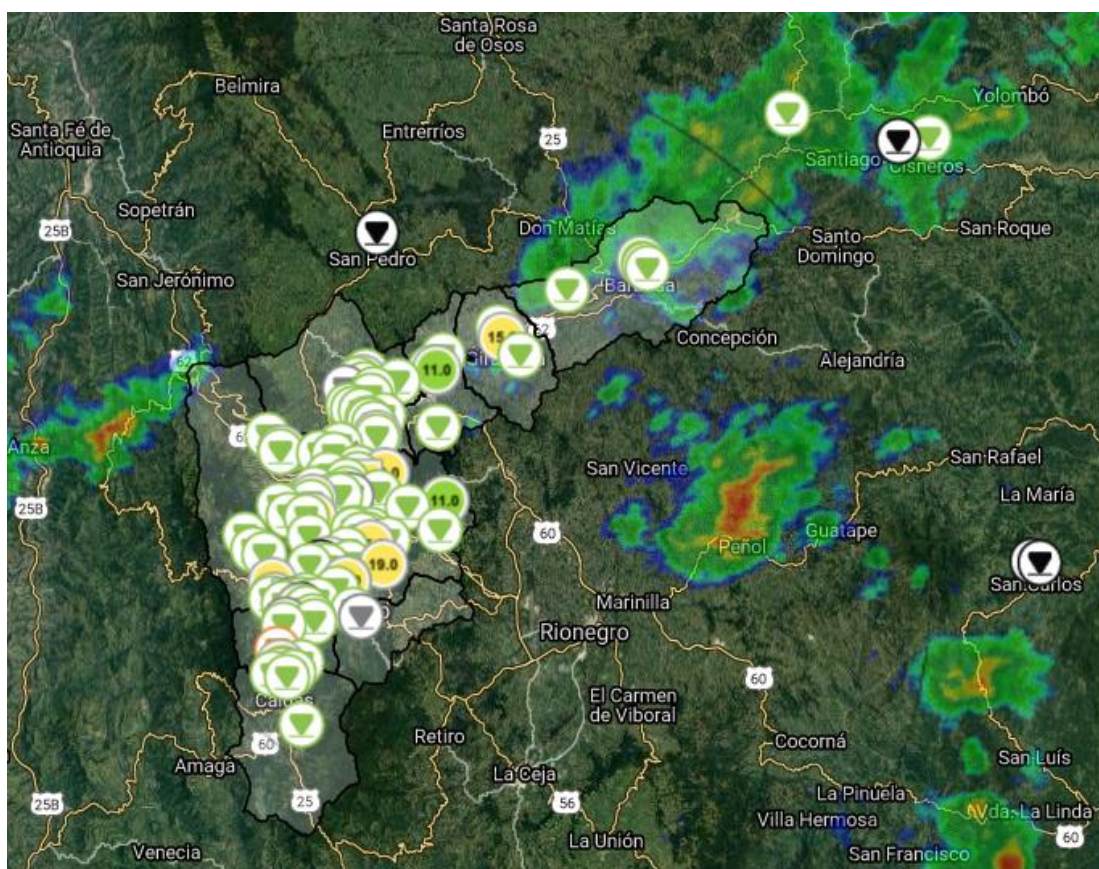
Figura 5. Esquema red de monitoreo de la calidad del aire (Área Metropolitana del valle de aburra)



**Fuente:** Esquema de la calidad de los equipos de monitoreo de la calidad del aire actuales instalados a lo largo del valle del aburra. Tomada de (Area Metropolitana Valle de Aburrá, 2020)

Los datos recogidos en las estaciones son enviados en tiempo real a servidores donde son procesados, y convertidos en información para su análisis por personal capacitado los cuales corroboran la calidad de los datos (coherencia y consistencia), si estos datos presentan una amenaza para la salud pública se activan las acciones establecidas previamente con el objetivo de proteger la salud de las personas. (Area Metropolitana Valle de Aburrá, 2020)

*Figura 6. Aplicación SIATA red de monitoreo valle de aburra*

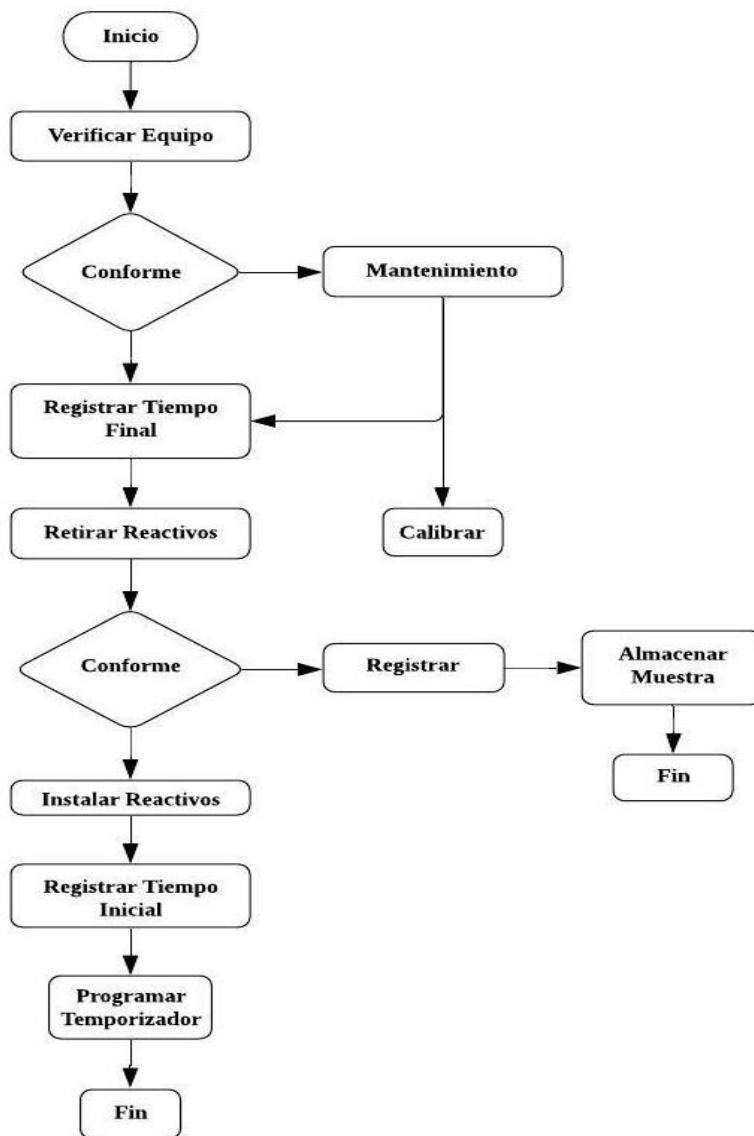


**Fuente:** Aplicación SIATA actual la cual brinda información en tiempo real de la calidad del aire en cada uno de los municipios que hacen parte del área metropolitana siendo vital para la toma de decisiones. Tomada de (SIATA, 2021)

### Medición de la calidad del aire para el caso del SO<sub>2</sub> manual

En la actualidad el método de referencia utilizado para la toma de muestra del SO<sub>2</sub> óxidos de azufre calidad del aire por 24 horas es: Método CFR 40, parte 50 Apéndice A-2 el cual nos brinda un instructivo técnico de cómo se debe realizar el monitoreo.

Figura 7. Diagrama de Flujo del Muestreo So<sub>2</sub> y Nox



**Fuente:** Diagrama de flujo Monitoreo de So<sub>2</sub> equipo manual (3 gases). (MAVDT, 2008, pág. 33)

El equipo muestreador de gases tipo Rack (Tres Gases), está fabricado en metal a manera de caja con espacio para dos compartimentos. En el primero se instala una bomba de vacío que logre alcanzar el vacío requerido para la toma de muestra como lo pide la U.S. EPA 40 CFR Ap22 A (un motor de 1700 rpm, 0.5HP de fuerza, una presión máxima de 20 psi, 110-115 voltios y alcanzar 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío a nivel del mar). (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL , 2008)

*Figura 8. Equipo muestreador de gases tipo Rack (Tres Gases)*

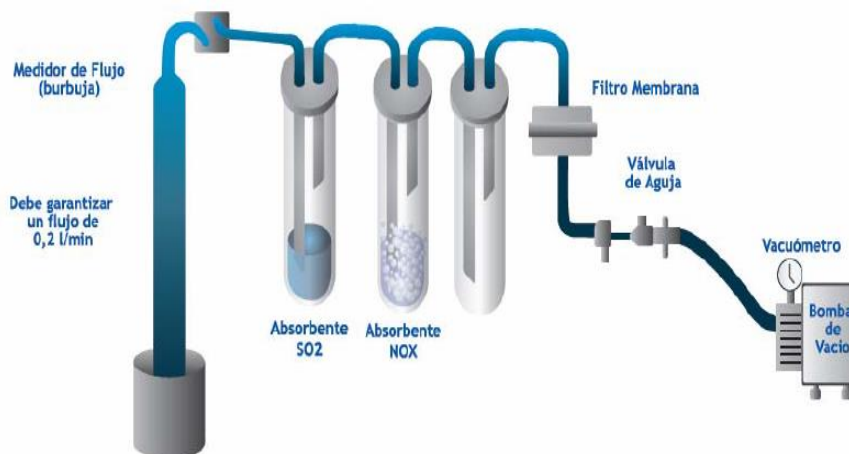


**Fuente:** Equipo tres gases, en su parte exterior (Diseño anterior). Tomada Elaboración Propia

Para el segundo compartimento, se instala un tren de muestreo, el cual va a estar conectado a la bomba de vacío, por medio de un distribuidor de flujo el cual conecta a su vez con tres impingers de vidrio de boro silicato (burbujeadores) estos son cargados con la solución absorbente utilizada para el monitoreo NOX, SOX, el tercer impingers deberá estar vacío con el objetivo de ser utilizado como trampa de humedad. Todo el flujo de aire que pasa a través del

sistema debe ser controlado por orificios críticos los cuales regulen el caudal, se deberán calibrar antes y después de la recolección la muestra (24 horas). Se debe instalar un filtro de membrana de 8 micras entre la entrada de la muestra y el primer impingers (burbujeador), la trampa de humedad (sílica gel) se debe instalar entre el burbujeador trampa y la bomba de vacío. El burbujeador colector de SOX debe estar empotrado en una pequeña nevera refrigerada con hielo seco o un sistema de refrigeración el cual garantice la temperatura una temperatura entre  $15 + 10^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de muestreo de 24 horas  $\pm 1$  dándole validez a la muestra para su análisis. (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL , 2008)

Figura 9. Calibración equipo muestreador de gases tipo Rack (Tres Gases)



**Fuente:** Componentes Instalados dentro del muestreador manual tipo Rack utilizados para el monitoreo del So<sub>2</sub>. Tomada (MAVDT, 2008, pág. 37)

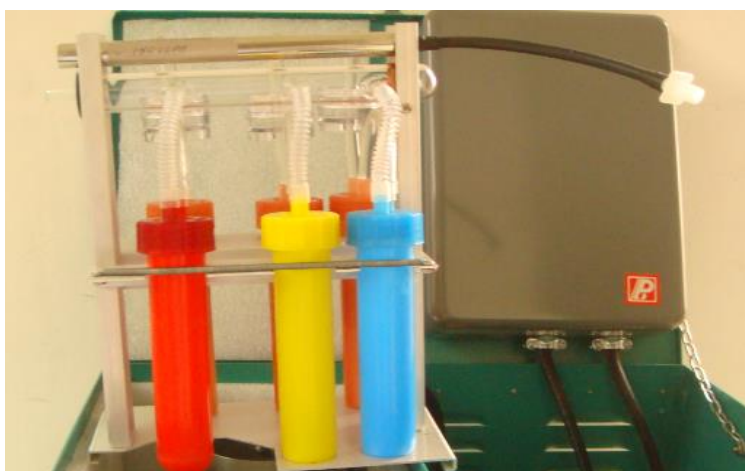
Los Dióxidos de Azufre y el Dióxido de Nitrógeno deben ser monitoreados por medio de esta clase de equipos muestreadores, utilizando un sistema húmedo de absorción de gases con químicos en estado líquido.

Las empresas privadas que pretendan realizar monitoreos a través de este método deben obtener la certificación por medio del IDEAM el cual es el único ente con las competencias necesarias para certificar la correcta implementación en cuanto a la toma de muestra del  $\text{SO}_2$  para calidad del aire. (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2010)

## **Etapa de refrigeración en el proceso de medición de la calidad del aire para el caso del SO<sub>2</sub>**

La temperatura de la solución absorbente (0,04 M de TMC) durante la toma de la muestra debe mantenerse a  $15 \pm 10$  °C. Esto para minimizar las pérdidas y el deterioro de la muestra durante este periodo de  $24 \pm 1$ . Diferentes enfriadores termoeléctricos son diseñados específicamente para este control de temperatura y se consiguen comercial normalmente estos equipos operan entre 5 y 15 °C.; sin embargo, se debe tener cuidado en el aislamiento de las líneas de entrada de aire evitando la condensación del gas cuando la toma de muestra se realiza en condiciones de humedad. Utilizar una almohadilla térmica puede ser una buena opción cuando se tome la muestra en temperaturas muy bajas ( $< 7$  °C) se debe evitar que la solución absorbente se congele teniendo que ser descartada. (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2010, pág. 7.1.10)

*Figura 10. Burbujeadores Rack (Tres Gases) diseño anterior*



**Fuente:** Burbujeadores utilizados para ser cargador con el reactivo absorbente tetracloromercurato de potasio (TCM). Tomada de Elaboración Propia

Actualmente existen Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire automáticos los cuales no requieren análisis posterior de la muestra tomada. A través r de métodos ópticos o eléctricos se realiza el análisis de la muestra de manera directamente proporcionando datos en tiempo real, logrando tomar acciones inmediatas si se presentan concentraciones muy altas que puedan afectar a diferentes poblaciones.

Los Analizador de óxidos de azufre (SOx) automáticos funcionan bajo el Principio de Operación Fluorescencia Ultravioleta, dicho método se basa en la energía de luz discreta descargada o fluorescencia una característica de la molécula de dióxido de azufre SO<sub>2</sub> cuando esta es irradiada con luz ultravioleta. (PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, 2010, pág. 5.2.1.2.)

*Figura 11. Analizador de óxidos de azufre (So<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>) automáticos*



**Fuente:** Analizador de gases automático para monitoreos de So<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> de manera directa.

Tomada de (directindustry(Analizador de gas T100U), 2021)

## El proceso de medición de la calidad del aire en la empresa Conhintec S.A.S

Los dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) en la empresa Conhintec S.A.S. son monitoreados mediante el denominado analizador de tres gases, el cual es un instrumento que utiliza un sistema de absorción de gases con químicos húmedos como lo exige el protocolo. (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL , 2008).

El equipo usado para el muestreo de  $24 \pm$  horas para SO<sub>2</sub> en calidad del aire costa de un embudo de vidrio conectado mediante una manguera de teflón a un sistema de filtrado de material particulado de PVC y un condensador de agua, posteriormente la muestra pasa por un reactivo absorbente previamente medido ( 50 ml), con el fin de mantener un flujo constante de muestra hacia el reactivo se tiene un sistema de control de presión y flujo mediante un orificio crítico y una bomba de succión a 110VAC a 2.5 inHG.

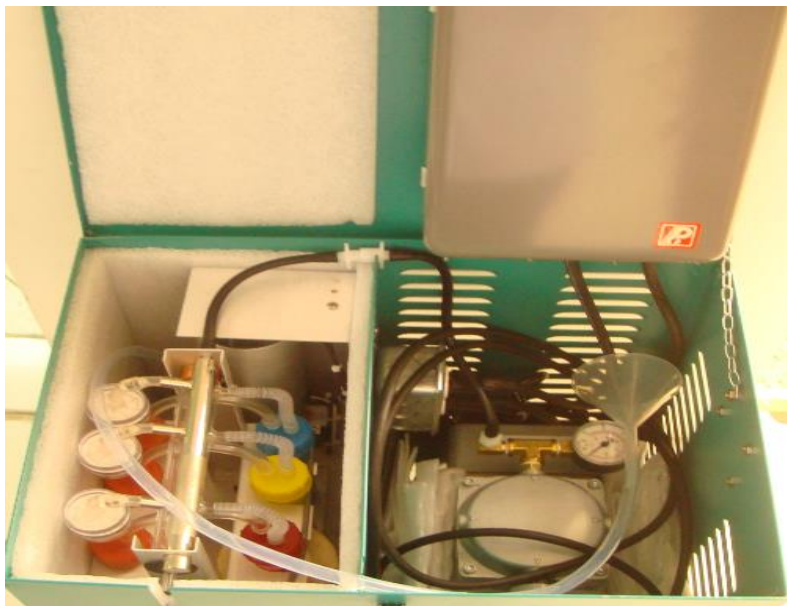
*Figura 12. Tubo burbujeador (Impingers) de SO<sub>2</sub> de EPA Pararrosalina*



**Fuente:** El tubo burbujeador debe se debe purgar, y llenar con 50 ml del reactivo. Fuente

Elaboración Propia

*Figura 13. RAC, Con sistema de enfriamiento/calefacción. Bomba de succión.  
(Analizador de tres gases).*

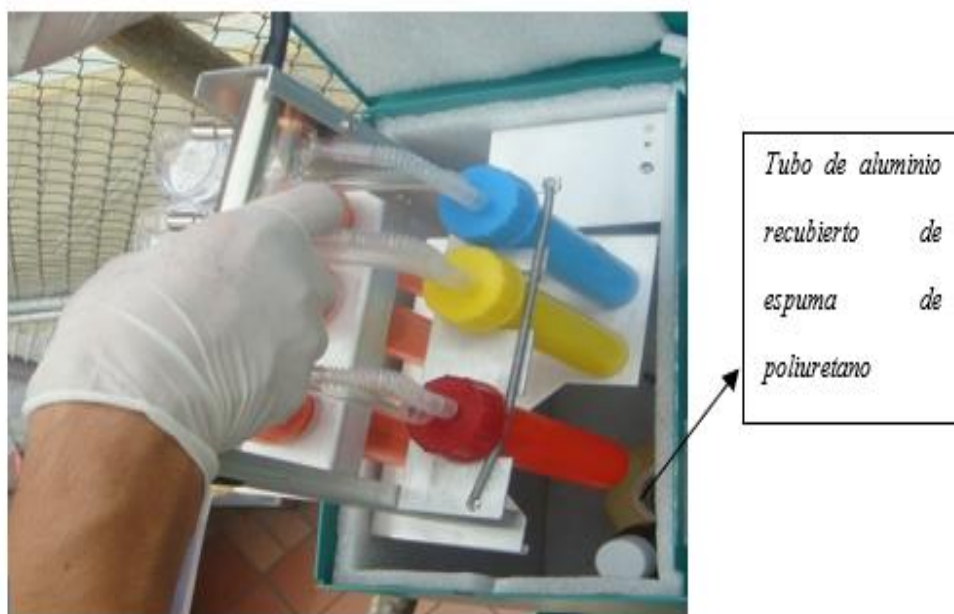


**Fuente:** Analizador de tres gases internamente se puede observar su bomba de succión la cual es la encargada de succionar el aire a través de la solución absorbente con una caudal referencia entre 0,180 y 0,220 lm. Fuente Elaboración Propia

Por otro lado, con el fin de mantener la muestra en una condiciones homogéneas en cuanto a temperatura y humedad sin ser afectada por los cambios presentados entre el lugar en el que se toma la muestra, se cuenta con un tubo de aluminio recubierto de espuma de poliuretano en un tubo de PVC de 5" de diámetro en donde se inserta el impinger con el reactivo utilizado para la captura de la muestra, y en su parte inferior cuenta con una celda peltier TEC1-12715 con un disipador de aluminio y un ventilador, el cual está conectado a un termistor genérico que permite una variación de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  con respecto a un setpoint de  $10^{\circ}\text{C}$ , si bien este sistema cumple con lo esperado en el CFR, termodinámicamente es ineficiente puesto que la absorción de temperatura se hace parcialmente ya que la celda no toca completamente el tubo que sostiene el impinger, y el

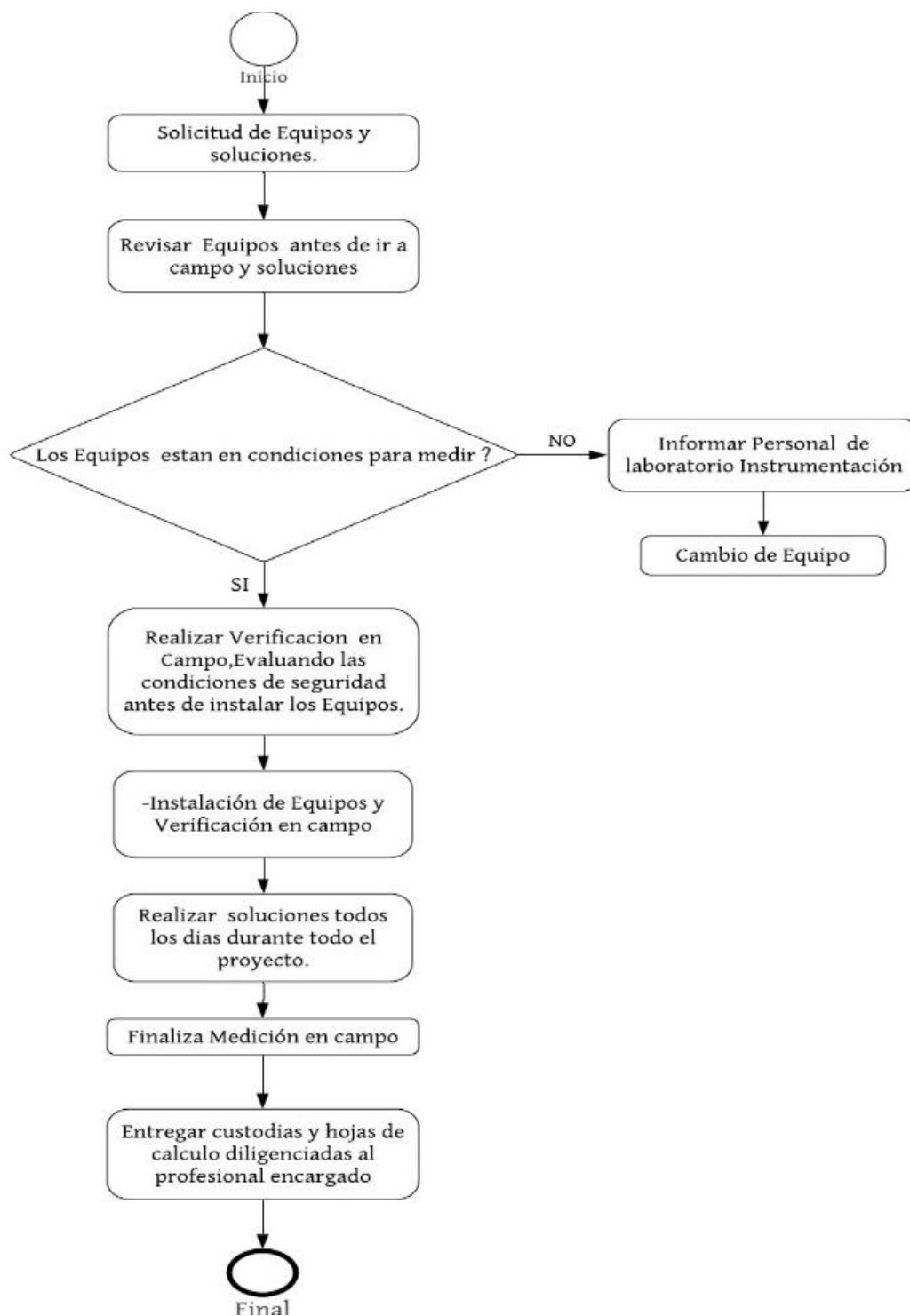
espacio que hay entre el impinger y el tubo es muy amplio, por lo que la reducción de temperatura se vuelve un desafío en ambientes con temperaturas elevadas.

*Figura 14. Tubo de aluminio recubierto de espuma de poliuretano*



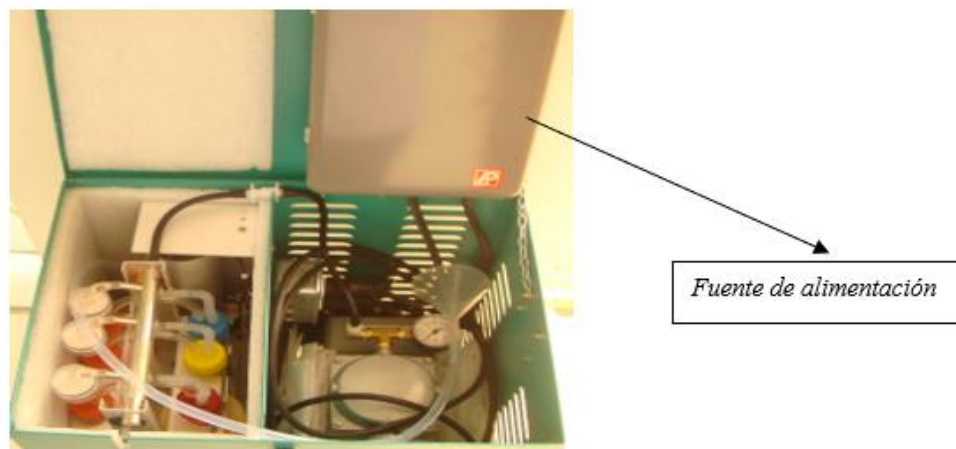
**Fuente:** Los 50 ml de Solución Adsorbente depositados en el impingers de color rojo se insertan en el tubo de aluminio el cual se encargará el cual debe garantizar una temperatura entre  $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de muestreo de 24 horas  $\pm 1$ . Fuente Elaboración Propia

Figura 15. Diagrama de Flujo Medición de calidad General Empresa Conhintec S.A.S.



**Fuente:** Diagrama de flujo general sobre proceso de medición de la calidad del aire, desde la solicitud de equipos, hasta la entrega de custodias. Fuente Elaboración Propia.

Figura 16. Fuente de alimentación



**Fuente:** fuente AC/DC de 12VDC a 50A. Fuente Elaboración Propia

**Tabla 1. Consumo Corriente Equipo para la toma de muestra del So<sub>2</sub>**

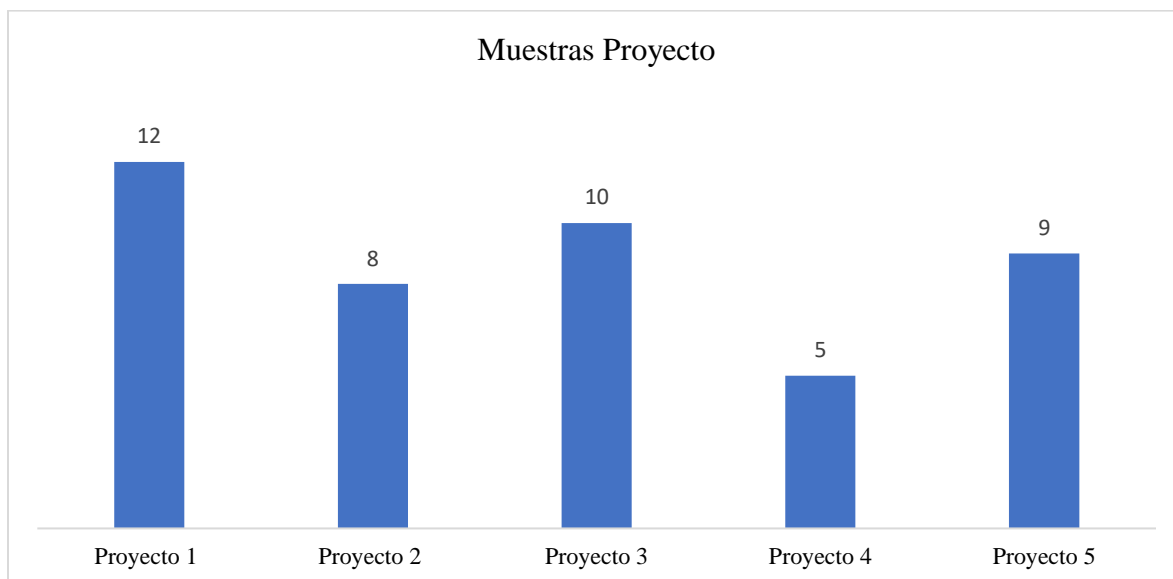
Corriente pico (Corriente de arranque)	38A
Corriente nominal (Corriente de trabajo)	15A

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 2. Curva de temperatura en 24h con datos cada 5 minutos**

Promedio	12,80 °C
Desviación estándar	1,60
Temperatura Máxima	15,8 °C
Temperatura Mínima	10,1 °C
Diferencia	5,7 °C

**Fuente:** Elaboración Propia

**Grafica 1. Muestras Descartadas**

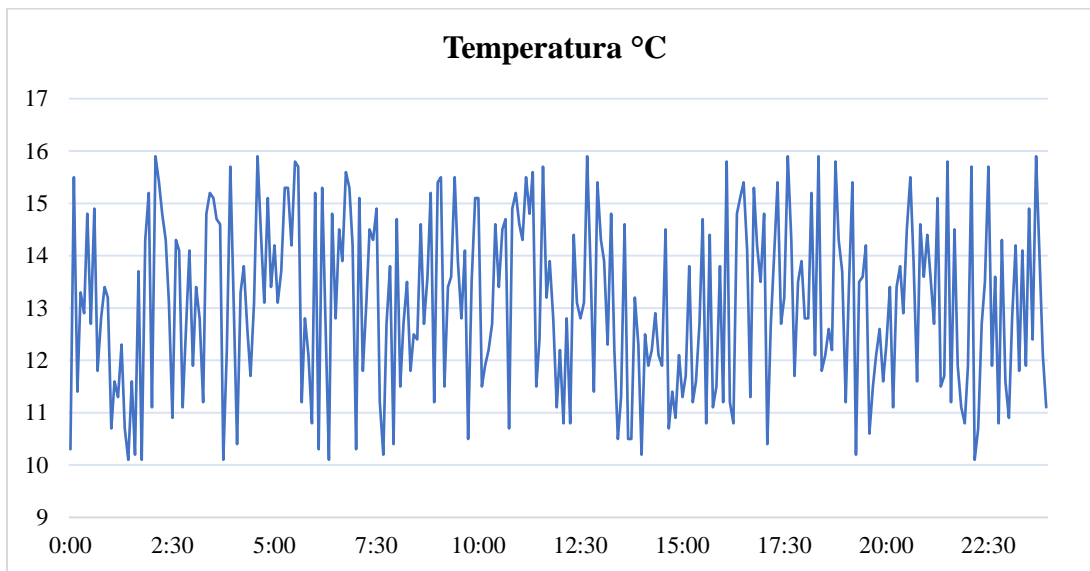
**Fuente:** Elaboración Propia

La Grafica 1. nos muestra cual asido el número de muestras descartadas en cada uno de los proyectos realizados, podemos observar claramente un número considerable de muestras descartadas en el proyecto 1 y 3, donde se descartaron una cantidad de muestras considerables por no cumplir con los parámetros requeridos para su análisis en cuanto a temperatura, el descarte de estas muestras significó para la compañía un alto costo ya que se necesitan 18 muestras aceptables para la finalización del proyecto en el caso del proyecto 1 se tuvo que monitorear por 12 días más, lo cual disminuyo notablemente la rentabilidad que se tenía proyectada con la ejecución del proyecto.

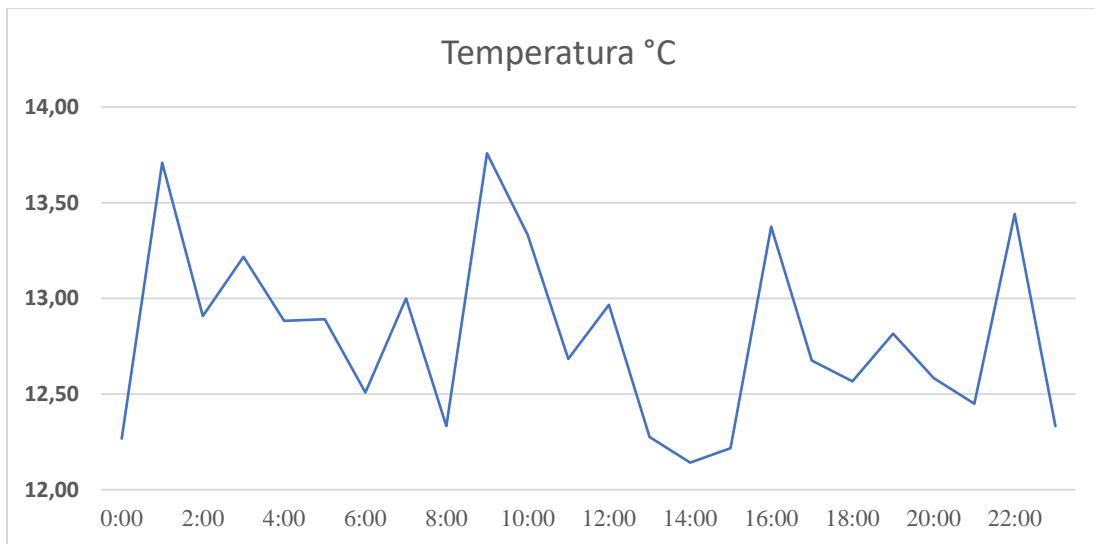
**Grafica 2. Costos por descarte de muestras**

**Fuente:** Elaboración Propia

La grafica 2. Nos muestra cuales fueron los sobrecostos asociados con el número de muestras descartadas en cada uno de los proyectos donde aproximadamente los gastos asociados solo a el cambio de muestra cada 24 horas es de 450,000 mil pesos ya que la compañía cuenta con equipos propios como es el caso de los proyectos analizados, sin embargo en caso de tener que rentar equipos a través de alianzas estrategicas estos costos pueden llegar hacer tan elevados generando un valor negativo en la rentabilidad de la compañía.

**Grafica 3. Variación Actual Temperatura**

**Fuente:** Elaboración Propia

**Grafica 4. Curva de temperatura en 24h con datos de promedio hora.**

**Fuente:** Elaboración Propia

La Grafica 3 y 4. Nos muestra la curva de temperatura en 24 horas con datos promedio en un ambiente controlado, donde la temperatura tuvo una fluctuación entre  $10^{\circ}\text{C}$ , y  $16^{\circ}\text{C}$  con referencia al método el cual nos pide garantizar una temperatura entre  $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de muestreo de 24 horas  $\pm 1$ . Evidenciando lo fácil que el equipo puede llegar sobrepasar estas condiciones, cabe aclarar que durante un muestre oficial el ambiente no puede ser controlado, y las condiciones de temperatura, humedad, y presión atmosférica infieren de manera determinante en el equipo, y cambian constante mente afectando el despacho actual de la etapa de refrigeración para el caso del  $\text{So}_2$ .

## **Propuesta de mejora del proceso de medición de la calidad del aire para el caso del SO<sub>2</sub>**

Después de revisar es el consumo energético del equipo se identificó que este es demasiado elevado, ya que la energía eléctrica suministrada al equipo se debe rentar en el lugar en donde se desee hacer el monitoreo, se convierte en un factor crítico que se debe buscar como disminuir, por lo tanto, con base en mediciones de corriente en la bomba de succión utilizada por el sistema de refrigeración, se logra observar un consumo demasiado alto.

Si bien el sistema peltier + termistor cumplen con los requisitos exigidos por el CFR de la EPA para SO<sub>2</sub>, existen modelos de accesorios que cuentan con una mejor sinergia mejorando el consumo energético, sin poner en riesgo la estabilidad de la muestra.

Actualmente se encuentran en el mercado distintos tipos de temporizadores que permiten controlar el tiempo de captura de muestra y mitigan el riesgo de anulación por casos fortuitos que le impidan al profesional llegar a tiempo y apagar el equipo para realizar la recuperación de la muestra

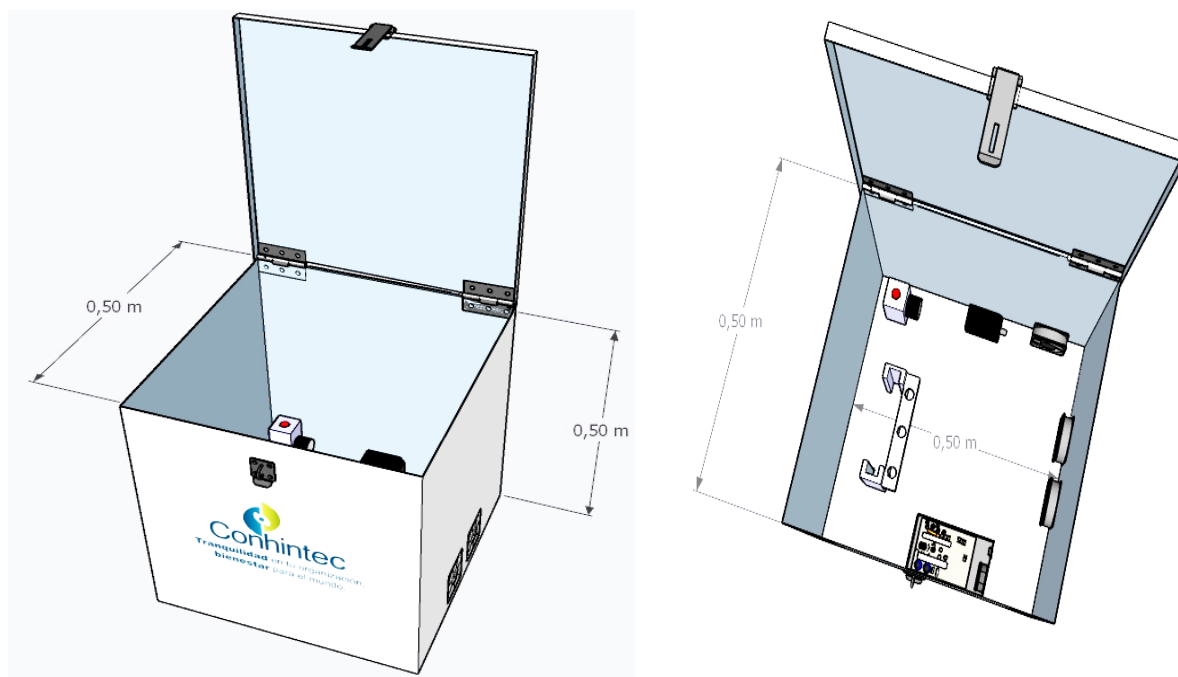
Es necesario antes de adquirir nuevos accesorios, evaluar sus consumos eléctricos con respecto a la fuente de alimentación

El contenedor en el que se tienen instalados todos los accesorios debe contar con un aislamiento térmico interno y externo, que permita tanto la disipación del calor que generan los equipos instalados como que evitar el calor del sol al que estará expuesto durante el periodo de 24 horas.

### Propuesta de mejora para la etapa refrigeración para la toma de So<sub>2</sub>

Después de evaluar cada uno de los puntos a mejorar expuestos anteriormente, se recomienda intervenir los siguientes:

*Figura 17. Propuesta Diseño Interno Analizador Tres Gases*



**Fuente:** Propuesta distribución etapa de refrigeración con la instalación de los nuevos componentes los cuales mejoren el funcionamiento de todo el sistema. Fuente elaboración Propia

1. **Bomba de succión:** la bomba que tiene actualmente ya no satisface energéticamente el sistema, es una bomba implementada para un manifold con capacidad para 3 muestras y debido a las modificaciones realizadas al CFR, esto ya no es necesario, por lo que tendríamos un equipo demasiado robusto para su fin, con un volumen y consumo energético mayor al demandado.

2. **Sistema de refrigeración:** el sistema que hay actualmente presenta muchas ineficiencias:

- a. Mucho espacio entre el impinger y el contenedor.
- b. Posición de la celda peltier que enfría desde la parte inferior hacia arriba.
- c. Sistema de disipación térmico para la celda.

Por eso se propone:

- a. Perforar en un bloque de aluminio de 4cm x 4cm x 13cm, el tamaño justo para el impinger.
- b. Reposicionar la celda peltier al centro de un lateral.
- c. Implementar un sistema de refrigeración líquida todo en uno (bomba, bloque, radiador y ventiladores)
- d. Instalar un termostato de precisión que permita un control mayor a  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- e. Cambiar la referencia de celda peltier por TEC1-12705 que ofrece mejores prestaciones en cuanto a disipación térmica y consumo por grado.

3. **Fuente de alimentación:** la fuente actual se vuelve ineficiente en el momento de evaluar la termodinámica del sistema, puesto que su temperatura se eleva demasiado, Por otro

lado, su tamaño y peso generan limitaciones de espacio y movilidad en el equipo. Se propone usar una mejor fuente fija swicheada de 1200W.

**4. Case:** el armazón de 40cm x 40cm x 50cm, en donde actualmente se encuentran los equipos es de acero galvanizado con pintura verde en vinilo, el cual para la transferencia térmica es muy poco favorable. Se propone mejorarlo por medio de la implementación de un cajón del mismo material, pero con dimensiones de 50cm para cada uno de sus lados, esto mejorara el flujo de aire interno permitiendo que el aire caliente salga. Por otro lado, la pintura deberá ser de color blanco brillante aplicada con horno, la cual absorberá mejor los rayos UV, finalmente se deberían instalaran 2 ventiladores en uno de sus laterales para ayudar a que el aire caliente salga y el sistema permanezca fresco durante todo el tiempo de medición.

### Aprobación e Instalación de Mejoras Propuestas

En vista de la problemática evidenciada para la toma de muestra de So<sub>2</sub>, la cantidad de muestras descartadas por cada proyecto, además de los consumos de energía asociados a los costos adicionales que esto genera, la alta gerencia de la empresa Conhintec S.A.S. aprobó en 100% el nuevo diseño de mejora para la etapa de refrigeración con el objetivo de mejorar el proceso de medición de la calidad del aire para el caso del So<sub>2</sub>, logrando una disminución representativa de los costos y un aumento en la calidad del servicio.

A continuación, se presentan las características técnicas de cada uno de los equipos instalados, cabe aclarar, que, aunque algunos presentan un mayor consumo de manera individual lo que se busca es la sinergia entre ellos, pues la combinación de sus características es la que logra reducir los consumos y estabilizar la temperatura de la muestra durante los periodos de medición.

**Tabla 3. Características Bomba Succión**

<b>Bomba de succión</b>		
<b>Característica</b>	<b>Equipo anterior</b>	<b>Equipo instalado</b>
Potencia (w)	0.19	72
Presión (MPa)	0.9	0.9
Flujo (lpm)	76.5	3.0 a 6.0
Tamaño (LxAxA cm)	25.8 x 13.7 x 19.1	16.5 x 10 x 6.2
Conexiones	Rosca de 3/8"	Recto

**Fuente:** elaboración Propia

**Tabla 4. Características Peltier**

<b>Peltier</b>		
<b>Característica</b>	<b>Equipo anterior</b>	<b>Equipo instalado</b>
Max. Voltaje de operación (V)	15.4	14.2
Max. Corriente de operación (A)	15	5.3
Max. Potencia (W)	136	57
Resistencia ( $\Omega$ )	0.750	2.4
Max. Temperatura de operación ( $^{\circ}\text{C}$ )	90	138

**Fuente:** elaboración Propia

**Tabla 5. Características Cooler**

<b>Cooler</b>		
<b>Característica</b>	<b>Equipo anterior</b>	<b>Equipo instalado</b>
Disipación	Aire	Líquido
Conductor	Aluminio	Cobre
Velocidad de ventilador (RPM)	500 – 1500	650 - 2000

**Fuente:** elaboración Propia

**Tabla 6. Características Fuente**

<b>Fuente</b>		
<b>Característica</b>	<b>Equipo anterior</b>	<b>Equipo instalado</b>
Tipo	ATX	Swichada
Potencia nominal (W)	750 (no reales)	3600
Refrigeracion	Por ventilador	Por ventilador

**Fuente:** elaboración Propia

**Tabla 7. Características Case**

<b>CASE</b>		
<b>Característica</b>	<b>Equipo anterior</b>	<b>Equipo instalado</b>
Tamaño (Largo x Ancho x Alto)	40 x 40 x 50	50 x 50 x 50
Color	Verde	Blanco brillante
Material	Acero galvanizado	Acero galvanizado
Pintura	Aceite	Al horno

**Fuente:** elaboración Propia

### **Análisis de los resultados operatividad del equipo en campo**

Mediante la instalación de los nuevos componentes se evidenciaron las siguientes mejoras en el funcionamiento en el equipo; debido a que la bomba de succión reemplazada cuenta con una potencia de 70 ( W ) y menor tamaño aumenta el espacio interno, vital para la instalación de los demás componentes, y la circulación de aire dentro del equipo, además la peltier instalada representa un menor consumo en cuanto a voltaje y corriente, si bien la temperatura de esta es más elevada el espacio con que cuenta el equipo actualmente dispersa fácilmente su intensidad, mediante la circulación del aire inyectado por el cooler el cual cuenta con una revolución entre 650 - 2000 ( RPM), la cual es soportada sin ningún problema por la fuente la cual cuenta con una capacidad nominal de 3600 (W), finalmente el nuevo case fue diseñado para contar con un mayor espacio y transferencia térmica el cual beneficie la sinergia que se busca entre cada uno de los componentes instalados garantizando la operatividad del equipo.

*Figura 18. RAC, Con sistema de enfriamiento/calefacción. Bomba de succión. (Analizador de tres gases).*



**Fuente:** Analizador de gases en operación, se puede observar cada uno de los nuevos componentes instalados además de los cambios con referencia la **figura 13**. Fuente Elaboración Propia.

**Tabla 8. Consumo Actual Corriente Equipo para la toma de muestra del So2**

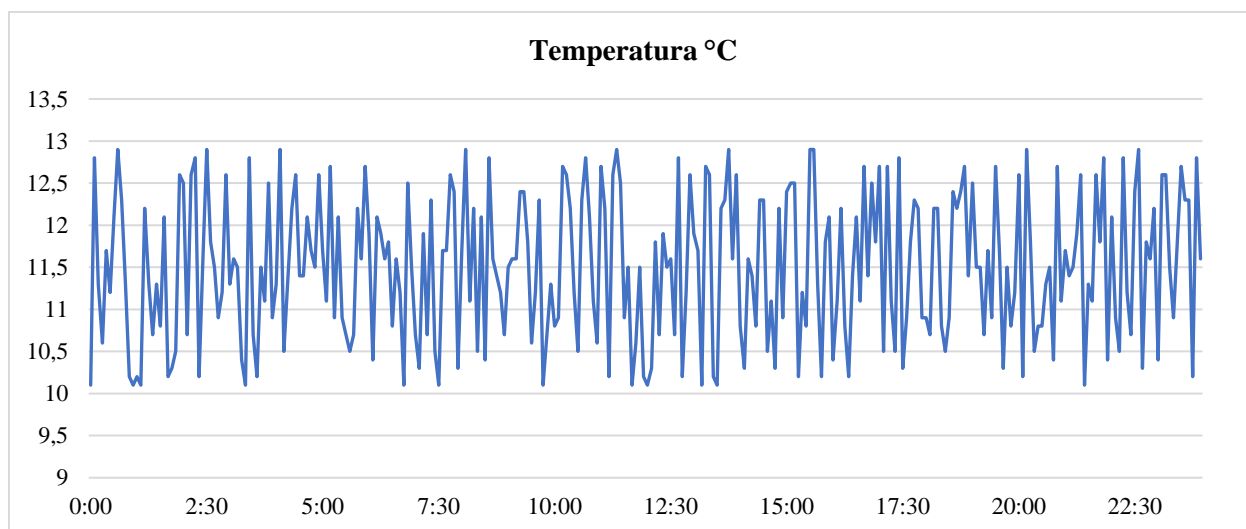
Corriente pico (Corriente de arranque)	12A
Corriente nominal (Corriente de trabajo)	3A

**Fuente:** elaboración Propia

**Tabla 9. Curva de temperatura en 24 h con datos cada 5 minutos**

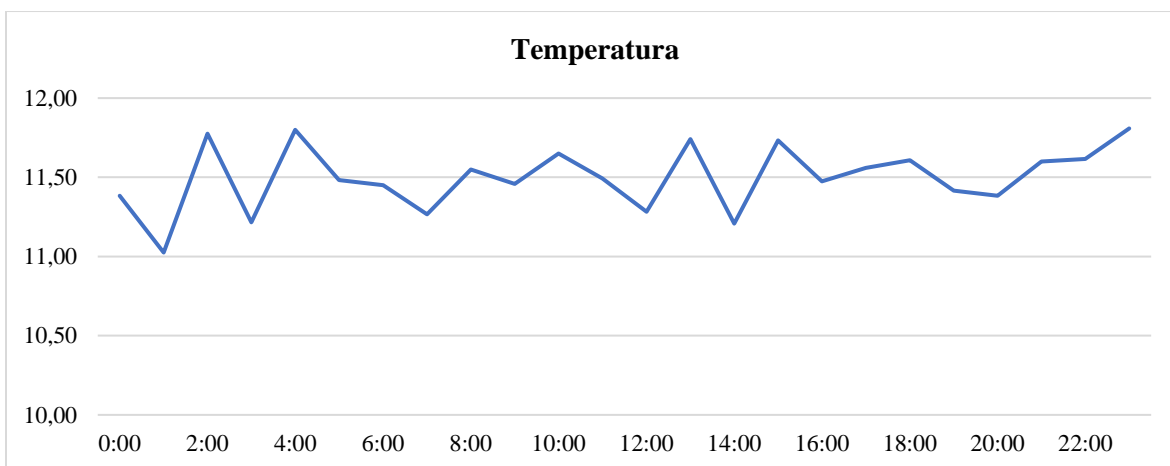
Promedio	11,50 °C
Desviación estándar	0,86
Temperatura Máxima	12,9 °C
Temperatura Mínima	10,1 °C
Diferencia	2,8 °C

**Fuente:** elaboración Propia

**Grafica 5. Variación Actual Temperatura**

**Fuente:** elaboración Propia

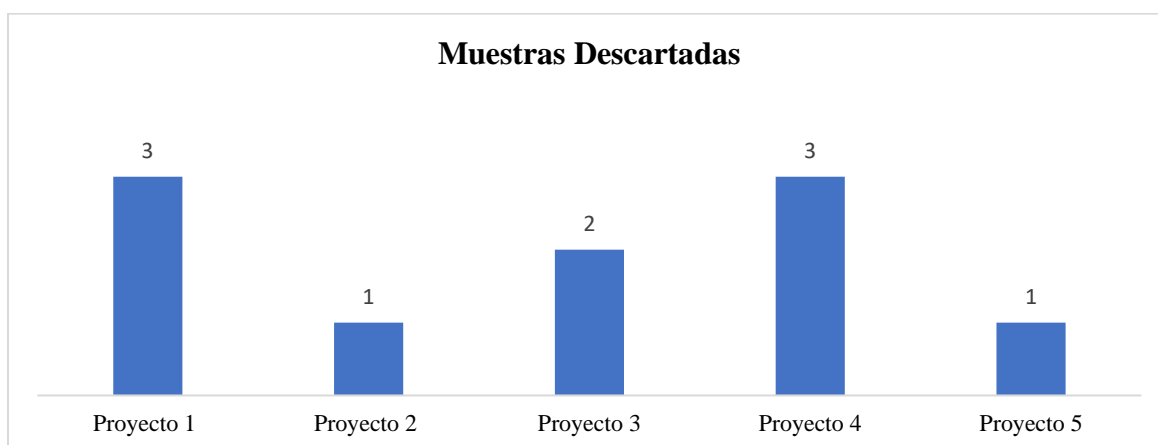
**Grafica 6. Curva de temperatura en 24h con datos de promedio hora**



**Fuente:** elaboración Propia

**La Grafica 5 y 6.** Nos muestra la curva de temperatura en 24 horas con datos promedio en un ambiente controlado, donde la temperatura tuvo una fluctuación entre 10°C, y 13 °C con referencia al método el cual nos pide garantizar una temperatura entre 15 + 10°C durante un periodo de muestreo de 24 horas  $\pm 1$ . Evidenciando que se ubica dentro del margen de aceptación en cuanto a temperatura requerido para su aceptación.

**Grafica 7. Muestras Descartadas**



**Fuente:** elaboración Propia

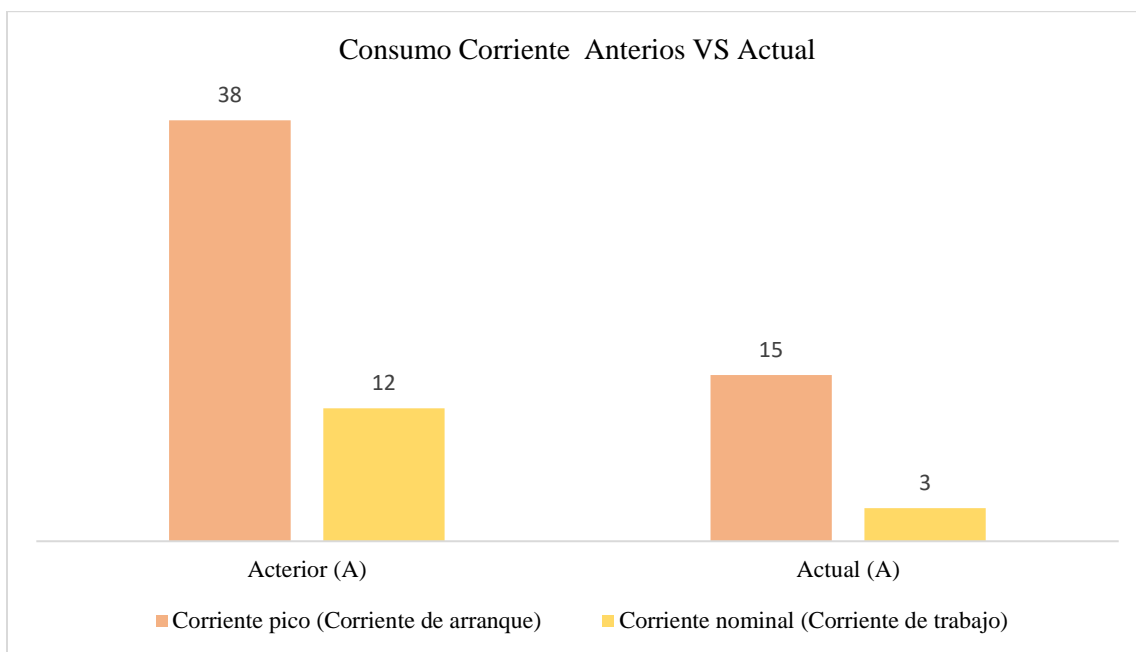
La grafica 7. evidencia claramente el número de muestras descartadas después de la implementación del nuevo diseño, donde para el proyecto 1 y 3 solo se descartaron 3 muestras por no cumplir con los requerimientos de temperatura necesarios, cabe aclarar que en ocasiones las condiciones ambientales presentes en campo son demasiado extremas.

**Grafica 8. Costos por descarte de muestras**



**Fuente:** elaboración Propia

La Grafica 8. evidencia cuales fueron los costos aproximados por el descarte de las muestras a lo largo del proyecto, donde podemos evidenciar unos costos relativamente bajos, y contemplados dentro de la ejecución de cada proyecto, evidenciando la disminución que se generó con el nuevo diseño (Tres gases) en comparación con la gráfica 2 donde los costos eran demasiado elevados

**Grafica 9. Consumo Corriente**

**Fuente:** elaboración Propia

**La Grafica 9.** Nos muestra los consumos de corriente antes y después de la ejecución del nuevo diseño (Tres gases) donde se evidencia una disminución importante el cual se verá reflejado en los costos asociados con el pago de servicios eléctricos los cuales son utilizados por el tiempo que se demore la ejecución del proyecto 18 a 24 días con base en las muestras descartadas.

## Conclusiones

- Con el cambio de diseño se tuvo una reducción en el consumo de la corriente de arranque de en un 68% el cual se verá reflejado en los costos asociados al pago por servicios de electricidad por 18 días
- Se tuvo una reducción en el consumo de la corriente nominal de en un 80% por día, teniendo en cuenta que los datos analizados corresponden a 1 día y un proyecto dura por lo menos 18 si no se cuenta con inconvenientes por descarte de muestras
- La mejora más notable está en el control de temperatura en donde se logró mejorar la desviación estándar de los datos, mostrando la eficiencia del control de temperatura retroalimentado que permite una estabilidad den los datos, no solo entre ellos si no entre el mínimo y el máximo.

## Referencias

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos . (1992). *www.law.cornell.edu*.

Obtenido de Legal Information Institute Open Access Law Since 1992:

[https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-A-2\\_to\\_part\\_50](https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-A-2_to_part_50)

Area Metropolitana Valle de Aburrá. (2020). *www.metropol.gov.co*. Obtenido de RED DE

MONITOREO CALIDAD DEL AIRE:

<https://www.metropol.gov.co/ambientales/calidad-del-aire/generalidades/condiciones-especiales>

IDEAM. (2019). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>:

<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.

(Noviembre de 2010). <http://www.ideam.gov.co/>. Obtenido de

[http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527464/3.+DIOXIDO\\_DE\\_AZUFRE\\_V04\\_VB.pdf/66cf1c9b-e25f-43b8-a634-156fd41cef0f](http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527464/3.+DIOXIDO_DE_AZUFRE_V04_VB.pdf/66cf1c9b-e25f-43b8-a634-156fd41cef0f)

Intendencia Monte Video . (21 de 10 de 2020). *Principales contaminantes del aire*. Obtenido de

Intendencia Monte Video : <https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-del-aire/principales-contaminantes-del-aire>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL . (FEBRERO

de 2008). *IDEAM, PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA*

*CALIDAD DEL AIRE* . Obtenido de IDEAM, MANUAL DE OPERACION DE

SISTEMAS DE:

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>

PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE.

(Octubre de 2010). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO*

*TERRITORIAL*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/>:

[https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion\\_atmosferica/Protocolo\\_Calidad\\_del\\_Aire\\_-\\_Manual\\_Operaci%C3%B3n.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Operaci%C3%B3n.pdf)

Sanambiente. (2019). *Sanambiente Procuramos Mejorar el ambiente* . Obtenido de Portafolio :

<https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas>

SIATA. (2021). Obtenido de [https://siata.gov.co/siata\\_nuevo/](https://siata.gov.co/siata_nuevo/)