# UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

### CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

**MUESTREO ISOCINÉTICO DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN CHIMENEAS DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS DE 1050KW DE CAPACIDAD.**


**AUTOR(ES):**

Dennis Alejandro Pérez Hidalgo

Elizabeth Mariela Vargas Morocho

**DOCENTE – TUTOR:**

Ing. Paul Marcelo Manobanda Pinto MSc.



Puyo – Pastaza – Ecuador

2022

**FORMATO 4**
**APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**
**(Uno por cada evaluador)**

| En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos. | | |
|---|---|---|
| **Criterios** | **Puntaje** | **Argumentos de la calificación** |
| 1. TÍTULO | | |
| El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito.<br>Genera expectativas de lectura que se cumplen. | 5/5 | Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050kw de capacidad<br><br>Cumple las condiciones |
| **2. RESUMEN** | | |
| Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia.<br>Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones. | 5/5 | El resumen ha sido elaborado acorde a los lineamientos de la guía metodológica<br>SÍ CUMPLE |
| **3. INTRODUCCION** | | |
| Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa. | 20/20 | CUMPLE |
| **4. MARCO TEÓRICO** | | |
| Marco teórico coherente y articulado con los objetivos.<br>Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio.<br>Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad. | 15/15 | Sí cumple<br>Está bien articulado, acorde a la temática estudiada<br>Las fuentes bibliográficas están presentes |
| **5. METODOLOGIA** | | |
| Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos.<br>Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información. | 15/15 | Sí cumple<br>Metodología clara<br>Las recomendaciones hechas en la primera revisión fueron acogidas |

| | | |
|---|---|---|
| **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS** | | |
| Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc.<br>Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados.<br>El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras. | 25/25 | Sí cumple<br>Resultados completamente claros y tabulados, tributan adecuadamente a la metodología |
| **7. CONCLUSIONES** | | |
| Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados.<br>Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos. | 10/10 | Cumple<br>Corrige según recomendaciones |
| **8. REFERENCIAS** | | |
| Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias.<br>Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa. | 5/5 | Correctas |
| **VALORACIÓN TOTAL** | 100 | Es un trabajo muy bien logrado, felicitaciones a los autores y tutor |

**DICTAMEN**

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

| **Recomendación** | **Marque con X** |
|---|---|
| Aprobar | X |
| No Aprobar | |
| CALIFICACIÓN | 100 |

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
**MARIA DEL CARMEN CASTELO NAVEDA**

María del Carmen Castelo N
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 07 días del mes de Agosto de 2022

**FORMATO 4**
**APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**
**(Uno por cada evaluador)**

| En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos. | | |
|---|---|---|
| **Criterios** | **Puntaje** | **Argumentos de la calificación** |
| **1. TÍTULO** | | |
| El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito.<br>Genera expectativas de lectura que se cumplen. | 4/5 | No se identifica el espacio del trabajo. |
| **2. RESUMEN** | | |
| Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia.<br>Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones. | 5/5 | |
| **3. INTRODUCCION** | | |
| Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa. | 20/20 | |
| **4. MARCO TEÓRICO** | | |
| Marco teórico coherente y articulado con los objetivos.<br>Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio.<br>Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad. | 14/15 | |
| **5. METODOLOGIA** | | |
| Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos.<br>Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información. | 15/15 | |

| | | |
|---|---|---|
| **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS** | | |
| Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc.<br>Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados.<br>El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras. | 24/25 | |
| **7. CONCLUSIONES** | | |
| Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados.<br>Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos. | 8/10 | Mejorar la redacción y establecer acorde a los objetivos planteados. |
| **8. REFERENCIAS** | | |
| Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias.<br>Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa. | 5/5 | |
| **VALORACIÓN TOTAL** | 95/100 | |

**DICTAMEN**

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

| **Recomendación** | **Marque con X** |
|---|---|
| Aprobar | X |
| No Aprobar | |
| CALIFICACIÓN | 95/100 |

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
**SANTIAGO HOMERO CUICHAN PAUCAR**

Ing. Santiago H. Cuichan Paucar M.Sc.
Docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 08 días del mes de agosto de 2022

# UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
# FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
# CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Puyo, 2 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Dennis Alejandro Pérez Hidalgo, con C.I. 1805259742, con el Tema: "Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generadores eléctricos a gas de1050kw de capacidad", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Paul Marcelo Manobanda Pinto, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 2 de agosto de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
**PAUL MARCELO MANOBANDA PINTO**

Paul Marcelo Manobanda Pinto

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

## Document Information

| | |
|---|---|
| **Analyzed document** | U_Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generad ores eléctricos a gas de 1050kw de capacidad.docx (D142616927) |
| **Submitted** | 2022-08-03 02:16:00 |
| **Submitted by** | MANOBANDA PINTO PAUL MARCELO |
| **Submitter email** | pmanobanda@uea.edu.ec |
| **Similarity** | 8% |
| **Analysis address** | pmanobanda.uea@analysis.urkund.com |

## Sources included in the report

| | | |
|---|---|---|
| W | URL: https://idoc.pub/documents/muestreo-isocinetico-en-chimeneasepa-1d47j3yo5m42<br>Fetched: 2022-08-03 02:16:27 | 9 |
| W | URL: https://es.slideshare.net/ricardoabermudez31/fuentes-fijas9858<br>Fetched: 2020-07-08 01:11:32 | 1 |
| SA | **Tesis completa _srMontalvo_revCMontero.docx**<br>Document Tesis completa _srMontalvo_revCMontero.docx (D29353001) | 1 |

## Entire Document

Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050kw de capacidad

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

Es importante evaluar los niveles de contaminación del aire en el área de estudio para determinar si representan una amenaza para la salud humana y si afectan o no el medio ambiente alrededor. El objetivo general del estudio fue realizar un muestro isocinético en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050Kw; se llevó a cabo bajo un enfoque mixto y un diseño descriptivo. Se utilizaron cinco métodos para el análisis isocinético para establecer la localidad de los puntos de muestro, determinar la velocidad y el caudal del gas de chimenea, determinar la masa molar del gas, determinar el contenido de humedad del gas y la emanación del material particulado. Como resultado se obtuvieron ocho puntos de muestreo fijos, con un diámetro de la chimenea de 0.3m; el gas de la chimenea alcanzó velocidades de 50,1 m/s con un caudal de 53 dscm/min; así mismo el peso molecular el gas de la chimenea fue de 29,86 g/g-mol, el porcentaje de humedad del gas ascendió a 17%. En conclusión, el muestreo isocinético permitió realizar una evaluación de la calidad del gas emanado por el generador eléctrico a gas de 1050kw de capacidad lo que permitirá a futuro realizar algún tipo de tratamiento o implementación de filtros para poder optimizar el proceso de la emanación de fuentes fijas.

Palabras Clave: chimenea, fuentes fijas, isocinético

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA**
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

Puyo, 2 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Elizabeth Mariela Vargas Morocho, con C.I. 1600644031, con el Tema: "Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generadores eléctricos a gas de1050kw de capacidad", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Paul Marcelo Manobanda Pinto, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 2 de agosto de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:

**PAUL MARCELO MANOBANDA PINTO**

Paul Marcelo Manobanda Pinto

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

## Document Information

| | |
|---|---|
| **Analyzed document** | U_Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generad ores eléctricos a gas de 1050kw de capacidad.docx (D142616927) |
| **Submitted** | 2022-08-03 02:16:00 |
| **Submitted by** | MANOBANDA PINTO PAUL MARCELO |
| **Submitter email** | pmanobanda@uea.edu.ec |
| **Similarity** | 8% |
| **Analysis address** | pmanobanda.uea@analysis.urkund.com |

## Sources included in the report

| | | |
|---|---|---|
| W | URL: https://idoc.pub/documents/muestreo-isocinetico-en-chimeneasepa-1d47j3yo5m42<br>Fetched: 2022-08-03 02:16:27 | 9 |
| W | URL: https://es.slideshare.net/ricardoabermudez31/fuentes-fijas9858<br>Fetched: 2020-07-08 01:11:32 | 1 |
| SA | **Tesis completa _srMontalvo_revCMontero.docx**<br>Document Tesis completa _srMontalvo_revCMontero.docx (D29353001) | 1 |

## Entire Document

Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050kw de capacidad

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

Es importante evaluar los niveles de contaminación del aire en el área de estudio para determinar si representan una amenaza para la salud humana y si afectan o no el medio ambiente alrededor. El objetivo general del estudio fue realizar un muestro isocinético en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050Kw; se llevó a cabo bajo un enfoque mixto y un diseño descriptivo. Se utilizaron cinco métodos para el análisis isocinético para establecer la localidad de los puntos de muestro, determinar la velocidad y el caudal del gas de chimenea, determinar la masa molar del gas, determinar el contenido de humedad del gas y la emanación del material particulado. Como resultado se obtuvieron ocho puntos de muestreo fijos, con un diámetro de la chimenea de 0.3m; el gas de la chimenea alcanzó velocidades de 50,1 m/s con un caudal de 53 dscm/min; así mismo el peso molecular el gas de la chimenea fue de 29,86 g/g-mol, el porcentaje de humedad del gas ascendió a 17%. En conclusión, el muestreo isocinético permitió realizar una evaluación de la calidad del gas emanado por el generador eléctrico a gas de 1050kw de capacidad lo que permitirá a futuro realizar algún tipo de tratamiento o implementación de filtros para poder optimizar el proceso de la emanación de fuentes fijas.

Palabras Clave: chimenea, fuentes fijas, isocinético

# Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050kw de capacidad

Vargas Morocho Elizabeth Mariela[1]
amb2016185@uea.edu.ec

Pérez Hidalgo Dennis Alejandro[2]
amb2016128@uea.edu.ec

Manobanda Pinto Paul Marcelo[3]
pmanobanda@uea.edu.ec

**Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental**

***Resumen***

Es importante evaluar los niveles de contaminación del aire en el área de estudio para determinar si representan una amenaza para la salud humana y si afectan o no el medio ambiente alrededor. El objetivo general del estudio fue realizar un muestreo isocinético en chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050Kw; se llevó a cabo bajo un enfoque mixto y un diseño descriptivo. Se utilizaron cinco métodos para el análisis isocinético para establecer la localidad de los puntos de toma de muestras, determinar la velocidad y el caudal del gas de chimenea, determinar la masa molar del gas, determinar el contenido de humedad del gas y la emanación del material particulado. Como resultado se obtuvieron ocho puntos de muestreo fijos, con un diámetro de la chimenea de 0.3m; el gas de la chimenea alcanzó velocidades de 50,1 m/s con un caudal de 53 dscm/min; así mismo el peso molecular del gas de la chimenea fue de 29,86 g/g-mol, el porcentaje de humedad del gas ascendió a 17%. En conclusión, el muestreo isocinético permitió realizar una evaluación de la calidad del gas emanado por el generador eléctrico a gas de 1050kw de capacidad lo que permitirá a futuro realizar algún tipo de tratamiento o implementación de filtros para poder optimizar el proceso de la emanación de fuentes fijas.

***Palabras Clave:*** chimenea, fuentes fijas, isocinético

***Abstract***

It is important to assess air pollution levels in the study area to determine whether they pose a threat to human health and whether or not they affect the surrounding environment. The general objective of the study was to carry out an isokinetic sampling in chimneys of 1050Kw gas electric generators; It was carried out under a mixed approach and a descriptive design. Five methods were used for isokinetic analysis to establish the location of the sampling points, determine the velocity and flow rate of the stack gas, determine the molar mass of the gas, determine the moisture content of the gas and the emanation of particulate matter. As a result, eight fixed sampling points were obtained, with a chimney diameter of 0.3m; the flue gas reached speeds of 50.1 m/s with a flow rate of 53 dscm/min; Likewise, the molecular weight of the flue gas was 29.86 g/g-mol, the percentage of moisture in the gas was 17%. In conclusion, the isokinetic sampling allowed an evaluation of the quality of the gas emanated by the gas-fired electric generator of 1050kw capacity, which will allow in the future to carry out some type of treatment or implementation of filters in order to optimize the process of the emanation of sources fixed.

***Keywords:*** *fixed sources, fireplace, isokinetic*

## 1. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del rápido crecimiento industrial y de todas las actividades que le permiten mantener sus niveles de confort al ser humano, el consumo de energía de nuestra civilización moderna se ha disparado (Castro, Ramírez Jiménez, 2020). De la misma manera, en las industrias extractivas es fundamental el uso de energía para los campamentos, no obstante, muchas de ellas se encuentran adentradas en la Amazonía donde el acceso a los servicios básicos es nulo, debido a esto es sumamente necesario la implementación de equipos especializados para la generación de energía eléctrica basados en el gas natural, petróleo o Gas Licuado de Petróleo (GLP).

Si bien la conversión de energía basada en la combustión es eficiente, da como resultado la creación de desechos y contaminantes. El tipo de combustión y los parámetros de funcionamiento del sistema determinan la calidad de las emisiones de contaminantes que proceden de esta combustión (Castro *et al.*, 2020).

Sin embargo, es bien sabido que la composición de las partículas sólidas emitidas a la atmósfera por las máquinas generadoras de energía varía según el tipo de caldera de combustión utilizada, siendo las cenizas volantes, las partículas de carbón, el bagazo parcialmente quemado y el material inorgánico, las más fácilmente visibles (arena, arcilla, etc.) (Castro *et al.*, 2020).

Numerosos estudios epidemiológicos han relacionado la exposición a partículas en el aire con un mayor riesgo de muerte y enfermedad (ingresos en hospitales, síntomas respiratorios, disminución de la función pulmonar, etc.) (Feng, *et al.*, 2018). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) nueve de cada diez personas respiran aire contaminado y cerca de siete millones de personas mueren cada año a causa de la exposición a la contaminación atmosférica alrededor; por esta razón la contaminación atmosférica ambiental representa en la actualidad uno de los más grandes riesgos para la salud mundial (OMS, 2018).

A la luz de esta situación, es importante evaluar los niveles de contaminación del aire en el área de estudio para determinar si representan una amenaza para la salud humana y si afectan o no el medio ambiente circundante, razón por la cual se han establecido regulaciones para restringir emisiones gaseosas y limitar la cantidad de contaminación por material particulado (PM) de fuentes fijas y móviles (Rojas *et al.*, 2009).

El diseño de un sistema de tratamiento de emisiones nocivas al medio ambiente podría

ayudar con el problema antes mencionado, pero para ello sería necesario monitorear y evaluar las fuentes de emisiones y escapes a la atmósfera (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013). Los hallazgos del monitoreo pueden usarse para evaluar si las industrias están operando dentro de los límites legales establecidos.

La medición del material particulado en fuentes fijas requiere de un tipo especial de técnica de muestreo llamado muestreo isocinético, el muestreo isocinético requiere que la muestra pase a través de la boquilla de muestreo a la misma velocidad a la cual se están moviendo los gases en la chimenea en ese punto (Arenas *et al.*, 2016). Esta técnica de muestreo, ha sido diseñada para asegurar que la toma del muestreo de material particulado que están distribuidas heterogéneamente en un flujo gaseoso sea lo más representativa posible de la corriente que lo contiene.

Dado que la finalidad de este tipo de muestreo es recolectar partículas para su análisis, la muestra debe tomarse a una velocidad de succión que sea lo más cercana posible a la velocidad del gas que fluye a través de la chimenea. Esto se hace para reducir el potencial de error causado por un aumento o defecto en la concentración de las partículas muestreadas (Woodard, 1998).

La presente investigación se trabajó bajo la línea de investigación de Gestión y Conservación Ambiental y tiene como principal objetivo evaluar los parámetros obtenidos del muestreo isocinético de chimeneas de generadores eléctricos a gas de 1050 Kw mediante la identificación de los métodos de este tipo de muestreo, para posteriormente realizar la evaluación de los parámetros obtenidos en función de la normativa vigente: Acuerdo Ministerial 091 que trata de los Límites máximos permisibles para emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas y el Acuerdo Ministerial 097-A, que refiere a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Agua.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

ENFOQUE: este estudio presentó un enfoque mixto, es decir estuvo sustentado en el enfoque cualitativo y cuantitativo, se llevó a cabo un proceso que recolectó, analizando datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio.

DISEÑO: investigación descriptiva ya que se llevó a cabo el análisis de datos y de forma transversal porque se analizaron datos en un solo momento.

Para dar cumplimiento al objetivo general la investigación se ha divido en dos etapas.

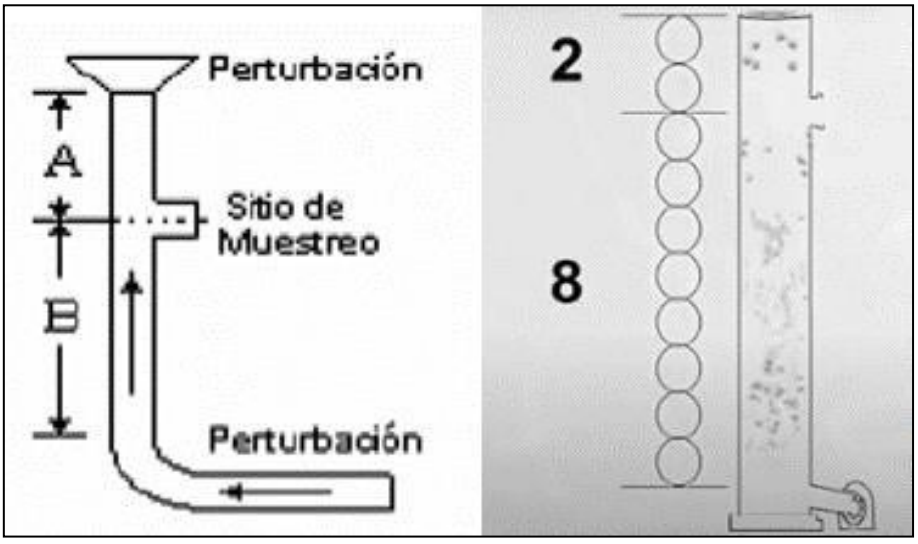
**Etapa 1: Identificación de métodos de muestreo y determinación de parámetros de**

**muestreos**

**Método 1.- Localización de los puntos de muestreo**

Se debe realizar la medición del diámetro de la chimenea; la localización de la toma de muestreo se lo realizar de dos formas: dos diámetros por debajo de la salida de la chimenea o a su vez ocho diámetros por encima de la última perturbación. Una vez determinado este punto para la toma de los muestreos se deben realizar dos cortes transversales perpendiculares (López, 2001).

**Figura 1. Localización de la toma de muestreos**




**Fuente:** Echeverri, 2006.

Para ductos rectangulares se usa el término diámetro equivalente, el cual se define así:

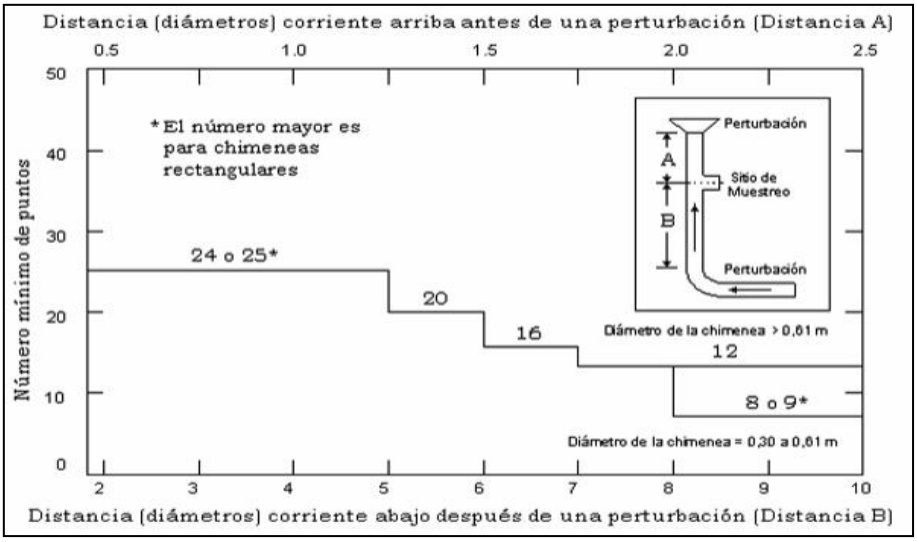
**Ec. 1**

$$De = \frac{2LW}{(L+W)}$$

En la cual L y W son las dimensiones (largo y ancho) de la sección transversal de la chimenea.

Para determinar los puntos de muestreo dentro del ducto de chimenea se utiliza el diagrama mostrado en la figura 2, en el cual se determina la cantidad de puntos de muestreo utilizando el diámetro corriente abajo después de la última perturbación y el diámetro corriente arriba antes de la salida de la chimenea.

**Figura 2. Cantidad de puntos de muestreos toma de muestreos**




**Fuente:** Echeverri, 2006.

La ubicación de los puntos de muestreo en chimeneas circulares se determina a través de la tabla 1.

**Tabla 1. Cantidad de puntos de toma de muestreos**

| Numeración del punto de muestreo en un diámetro | Número de puntos de muestreo en un diámetro | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** | **12** |
| **1** | 14.6 | 6.7 | 4.4 | 3.2 | 2.6 | 2.1 |
| **2** | 85.4 | 25.0 | 14.6 | 10.5 | 8.2 | 6.7 |
| **3** | | 75.0 | 29.6 | 19.4 | 14.6 | 11.8 |
| **4** | | 93.3 | 70.4 | 32.3 | 22.6 | 17.7 |
| **5** | | | 85.4 | 67.7 | 34.2 | 25.0 |
| **6** | | | 95.6 | 80.6 | 65.8 | 35.6 |
| **7** | | | | 89.5 | 77.4 | 64.4 |
| **8** | | | | 96.8 | 85.4 | 75.0 |
| **9** | | | | | 91.8 | 82.3 |
| **10** | | | | | 97.4 | 88.2 |
| **11** | | | | | | 93.3 |
| **12** | | | | | | 97.9 |

**Fuente:** Echeverri, 2006.

### Método 2.- Determinación de la velocidad del gas en la chimenea y el caudal

La velocidad y el caudal del gas en la chimenea se determinan a través de la densidad del gas y de la medición de la presión de velocidad promedio (presión dinámica) con un tubo Pitot tipo “S” (López, 2001).

La velocidad del gas en la chimenea se relaciona con la presión de velocidad a través

de la ecuación de Bernoulli:

$$V1 = KpCp\sqrt{\frac{DP\ Ts}{PsMs}} \qquad \textbf{Ec. 2}$$

Donde:

**V =** Velocidad promedio del gas en la chimenea, m/s.
**Kp** = Constante del tubo pitot (34.97).
**Cp** = Coeficiente del tubo pitot.
**PD** = Presión de velocidad promedio del gas en la chimenea, mm H2O.
**Ts** = Temperatura promedio del gas en la chimenea, K.
**Ps =** Presión absoluta en la chimenea, mm Hg.
**Ms** = Masa molar del gas en la chimenea, g/mol.

El caudal de gases en la chimenea se puede calcular multiplicando la velocidad de los gases por el área transversal del ducto, así:

$$Qs = 3600VsAs \qquad \textbf{Ec. 3}$$

Donde:
**Qs** = Caudal de gases en la chimenea a condiciones de chimenea, m3/h.
**Vs**= Velocidad promedio del gas en la chimenea, m/s.
**As** = Área transversal de la chimenea, $m^2$.

El caudal de gas en la chimenea en base seca corregido a condiciones de referencia es:

$$Qref = 3600\ (1 - Bws)VsAs\frac{Tref}{Ts}x\frac{Ps}{Pref} \qquad \textbf{E.c. 4}$$

Donde:

Qsref = Caudal de gas en la chimenea en base seca corregido a condiciones de referencia, m3/h.
Bws = Fracción volumétrica de vapor de agua en la corriente gaseosa.
Vs = Velocidad promedio del gas en la chimenea, m/s.
As = Área transversal de la chimenea, m2.
Tref = Temperatura de referencia, 298 K.
Ps = Presión absoluta en la chimenea, mm Hg.
Ts = Temperatura promedio del gas en la chimenea, K.
Pref = Presión de referencia, 760 mm Hg.

**Método 3.- determinación de la masa molar del gas**

Este método es aplicable para determinar las concentraciones de CO, $CO_2$, y $O_2$, aire en exceso y la masa molar seca de la muestra de una corriente de gas de un proceso de combustión de un combustible fósil. El método puede también aplicarse a otros procesos en los cuales se ha determinado que otros compuestos diferentes a $CO_2$, $O_2$, CO, y nitrógeno ($N_2$) no están presentes en concentraciones suficientes para afectar los resultados, se debe usar para un analizador Orsat o un analizador específico.

El gas se introduce o se extrae del aparato, subiendo o bajando la botella niveladora, que contiene agua. La bureta se llena con los gases de combustión y su volumen se determina cuidadosamente. Luego, se pasa el gas al recipiente que contiene una solución concentrada de hidróxido de potasio que absorbe el dióxido de carbono ($CO_2$); el gas remanente se regresa a la bureta medidora y se determina el volumen; la diferencia con el volumen original representa el dióxido de carbono absorbido (Echeverri, 2019).

$$\%CO_2 = 100\frac{(V1-V2)}{V1} \qquad \textbf{E.C. 5}$$

$$\%O_2 = 100\frac{(V2-V3)}{V1} \qquad \textbf{E.C. 6}$$

$$\%CO = 100\frac{(V3-V4)}{V1} \qquad \textbf{E.C. 7}$$

$$\%N_2 = 100\frac{V4}{V1} \qquad \textbf{E.C. 8}$$

Una vez realizado el análisis Orsat (análisis de los gases de combustión) se determina la masa molar del gas seco en la chimenea a partir del porcentaje molar de los gases de combustión (Echeverri, 2019).

$$Md = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28(\%CO + \%\,N_2) \qquad \textbf{E.C. 9}$$

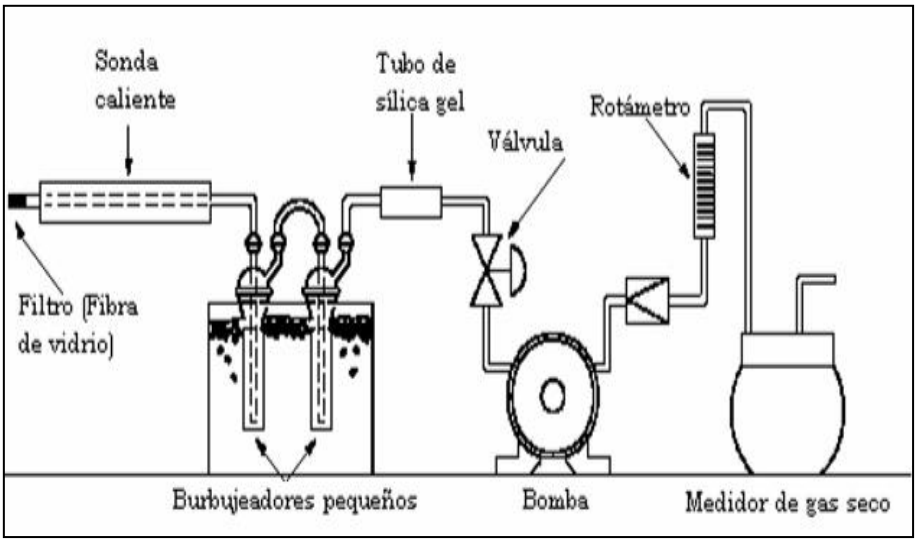
**Método 4.- determinación del contenido de humedad del gas en la chimenea**

Una muestra de gas es extraída de la fuente a una velocidad constante, la humedad es removida de la muestra de la corriente y determinada volumétrica o gravimétricamente.

El método de referencia consiste en tomar una muestra de los gases que circulan

por la chimenea, succionándolos con una bomba que los hace pasar a través de un filtro para retener las partículas y por unos burbujeadores, que se encuentran en un baño de hielo, para condensar la humedad. De acuerdo con el volumen de gases muestreado y el volumen de agua recolectada se determina el porcentaje de humedad de los gases (Echeverri, 2019).

**Figura 3. Método aproximado para el muestreo de humedad**




**Fuente:** Echeverri, 2006.

Conocer el contenido de humedad de la corriente gaseosa es importante para determinar la masa molar del gas en la chimenea; y con esta determinar la velocidad y el caudal del gas en la chimenea. También es un parámetro importante para la realización del muestreo isocinético, ya que el porcentaje de isocinetismo depende tanto del porcentaje de humedad de los gases en la chimenea como del tamaño de la boquilla seleccionado para la toma de la muestra, que a su vez depende también del contenido de humedad.

### Método 5. Determinación de la emisión del material particulado

Con los datos recogidos previamente se determina el diámetro ideal de la boquilla para el muestreo con la siguiente fórmula:

$$Da = \sqrt{\frac{607.1QmPm}{TmCp(1-Bws)}}\sqrt{\frac{TsMs}{PsDP}} \qquad \textbf{E.c. 10}$$

Donde:
Da = Diámetro de la boquilla, mm.

Qm = Caudal a través del medidor de gas seco, normalmente 0.0212 m3/min.
Pm = Presión absoluta en el medidor de gas seco, mm Hg.
Tm = Temperatura promedio en el medidor de gas seco, K.
Cp = Coeficiente del tubo pitot.
Bws = Fracción volumétrica de vapor de agua en la corriente gaseosa.
Ts = Temperatura promedio del gas en la chimenea, K.
Ms = Masa molar del gas en la chimenea, g/mol.
Ps = Presión absoluta en la chimenea, mm Hg.
DP = Presión de velocidad promedio del gas en la chimenea, mm H2O

El valor obtenido en la ecuación 10 se debe aproximar al diámetro de la boquilla existente más cercano, normalmente se aproxima a la boquilla existente menor.

Para realizar el muestreo se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Realizar las preparaciones preliminares en el sistema.
- Armar el equipo de muestreo con sus conexiones.
- Realizar pruebas de fugas.
- Tapar la entrada de gases en la boquilla
- Prender la bomba al vacío
- Destapar la entrada de la boquilla y apagar la bomba.
- Conectar el sistema de calentamiento de la sonda y la caja caliente
- Realizar una lectura inicial de gas seco.
- Nivelar la consola.
- Colocar la sonda al interior de la chimenea para leer el primer punto
- Realizar el muestreo en todos los puntos
- Calcular la caída de presión en el medidor de orificio.
- Hallar el coeficiente de proporcionalidad para relacionar las dos presiones de velocidad, de modo que la velocidad en la boquilla sea igual que la velocidad en la chimenea. Leer la presión de velocidad, temperatura del gas de chimenea y la temperatura en el medidor de gas en cada punto de muestreo.
- Efectuar el muestreo durante 3 a 5 minutos por punto dependiendo del total de puntos a muestrear.

**Etapa 2: Evaluación de los parámetros obtenidos en función a la normativa vigente**

Los resultados del muestreo isocinético se compararon con la normativa ecuatoriana vigente, por un lado, el acuerdo ministerial 091: límites máximos permitidos

para emisiones de motores de combustión interna, los cuales se mencionan en la tabla 2.

**Tabla 2. Límites máximos permisibles para emisiones de motores de combustión interna**

| Contaminante ($mg/Nm^3$)[a] | Tipo de contaminante | | |
|---|---|---|---|
| | **GLP o Gas** | **Diesel** | **Bunker o crudo** |
| Material Particulado (MP) | **N.A.** | 100 | 150 |
| Óxidos de Carbono (CO) | **N.A.** | 1500 | 150 |
| Óxidos de Nitrógeno (NOx) | **1400** | 2000 | 2000 |
| Óxidos de Azufre (SO2) | **30** | 700 | 1500 |
| HAPs | **0.1** | 0.1 | 0.1 |
| COVs | **5** | 10 | 10 |

**Fuente:** Ministrio del Ambiente, 2007.

Así mismo se realizó la comparativa con el Acuerdo Ministerial 097 anexo A, cuyos valores de referencia se presentan en la tabla 3. Estas comparaciones reflejan el estado actual del generador eléctrico a gas de 1050Kw.

**Tabla 3. Límites máximos permisibles de concentraciones de emisión al aire para motores de combustión interna ($mg/Nm^3$)**

| Contaminante | Combustible | | Fuente fija con autorización de antes de enero de 2003 | Fuente fija con autorización desde enero de 2003 | Fuente fija nueva con autorización a partir de la reforma de la norma |
|---|---|---|---|---|---|
| **Material particulado** | Líquido | Fuel oil-crudo petróleo | 350 | 150 | 100 |
| | | Diesel | 350 | 150 | 125 |
| **Óxidos de nitrógeno** | Líquido | Fuel oil | 2300 | 2000 | 1900 |
| | | Diesel | 2300 | 2000 | 1900 |
| | **Gaseoso** | **Gaseoso** | **2300** | **2000** | **1900** |
| **Dióxido e azufre** | Líquido | Fuel Oil | 1500 | 1500 | 1500 |
| | | Crudo petróleo | 1500 | 1500 | 1500 |
| | | Diesel | 1500 | 1500 | 1500 |

**Fuente:** Ministerio del Ambiente (2015)**.**

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados del muestreo isocinético a parir de los cinco métodos mencionados en el apartado anterior:

**MÉTODO 1 - RECORRIDOS DE MUESTRA Y VELOCIDAD PARA FUENTES CIRCULARES**

En la tabla 4 se exponen los datos preliminares para obtener la cantidad específica de puntos de muestreo dentro de la chimenea, tomando en consideración que presenta una estructura circular.

**Tabla 4. Datos preliminares de punto de muestreo de la chimenea**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Diámetro circular de la chimenea** | | | |
| Distancia a Far Wall of Stack | ($L_{fw}$) | 0.36 | m |
| Distancia a cerca de Wall of Stack | ($L_{nw}$) | 0.06 | m |
| Diámetro de la chimenea | (D) | 0.30 | m |
| Área transversal de la chimenea | ($A_s$) | 0.07 | $m^2$ |
| **Distancia desde el puerto a las perturbaciones** | | | |
| Distancia aguas arriba | (B) | 3.90 | m |
| Diámetros aguas arriba | ($B_D$) | 13.00 | Diámetros |
| Distancia aguas abajo | (A) | 2.76 | m |
| Distancia aguas abajo | (A) | 2.76 | m |
| Altura total | | 6.66 | m |

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera en la tabla 5 se determina la cantidad de puntos de muestreo con respecto a la longitud del diámetro de la chimenea y la altitud que esta presenta. En la tabla 6 se determinan la cantidad de puntos de muestreo y su respectiva distancia con respeto a la pared de la chimenea.

**Tabla 5. Número de puntos de muestreo**

| Número de puntos de muestreo requeridos | | | |
|---|---|---|---|
| Diámetros a Perturbación del flujo | | Número mínimo de Puntos transversales | |
| Hacia arriba Corriente | Abajo Corriente | Particulado Puntos | Velocidad Puntos |
| 2.00-4.99 | 0.50-1.24 | 24 | 16 |
| 5.00-5.99 | 1.25-1.49 | 20 | 16 |
| 6.00-6.99 | 1.50-1.74 | 16 | 12 |
| 7.00-7.99 | 1.75-1.99 | 12 | 12 |
| >= 8,00 | >=2,00 | 8 o 12 | 8 o 12 |
| Puntos transversales para el muestreo | | 8 | 8 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6. Ubicación de los puntos de muestreo**

| Ubicaciones de puntos transversales | | | |
|---|---|---|---|
| Atravesar Punto Número | Fracción de Pila Diámetro | Distancia De Adentro Pared m | Distancia Incluido Pezón Largura m |
| **1** | 0.032 | 0.010 | 0.070 |
| **2** | 0.105 | 0.032 | 0.092 |
| **3** | 0.194 | 0.058 | 0.118 |
| **4** | 0.323 | 0.097 | 0.157 |
| **5** | 0.677 | 0.203 | 0.263 |
| **6** | 0.806 | 0.242 | 0.302 |
| **7** | 0.895 | 0.269 | 0.329 |
| **8** | 0.968 | 0.290 | 0.350 |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos mostrados en las tablas anteriores se pudo determinar que la cantidad de puntos de muestreo dentro de la sección transversal circular de la chimenea serían 8, a partir de este dato se pudo determinar la velocidad del gas de chimenea y caudal volumétrico expresados en las tablas del método 2.

**MÉTODO 2 - DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL GAS DE LA CHIMENEA Y DEL CAUDAL VOLUMÉTRICO**

Para la determinación de la velocidad del gas en la chimenea y el caudal volumétrico se establecieron parámetros previos, los mismo que se detallan en la tabla 7, identificando un parámetro de partida con respecto a la presión atmosférica de 740 mmHg, además una presión estática de 6.20 mmH2O y con una presión dentro de la chimenea de 740.46 mmHg, muy similar a la presión atmosférica.

**Tabla 7. Velocidad media y caudal de la chimenea**

| Resultados | | | |
|---|---|---|---|
| Velocidad media del gas de la chimenea | ($v_s$) | 50.1 | m/s |
| Caudal std seco de la pila media | ($Q_{sd}$) | 3156 | dscm/h |
| Caudal std seco de la pila media | ($Q_{sd}$) | 53 | dscm/min |
| Caudal húmedo medio de la pila | ($Q_{aw}$) | 212 | ascm/min |

**dscm:** Metro cúbico estándar seco

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8. Velocidades del recorrido en los puntos de muestreo**

| Datos de recorrido de velocidad | | | |
|---|---|---|---|
| **Punto** | **Velocidad Cabeza** (Dp) mm H2O | **Temp Chimenea** ($t_s$) ºC | **Local Velocidad** $(v_s)_1$ m/seg |
| A-1 | 50.00 | 546 | 41.8 |
| A-2 | 54.00 | 581 | 44.4 |
| A-3 | 62.00 | 601 | 48.1 |
| A-4 | 70.00 | 623 | 51.7 |
| A-5 | 72.00 | 627 | 52.6 |
| A-6 | 74.00 | 651 | 54.0 |
| A-7 | 74.00 | 659 | 54.2 |
| A-8 | 74.00 | 658 | 54.2 |
| $(Dp)^{1/2}_{promedio}{}^1$ | 8.12 | 618 | |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla anterior se pudo constatar la velocidad media del gas de la chimenea y el caudal volumétrico respectivo, dichos datos se pueden visualizar en la tabla 7 y 8.

**MÉTODO 3 - ANÁLISIS DE GASES PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR SECO**

De la misma manera en el método 3 se pudo determinar las concentraciones porcentuales de los gases, obteniendo un 11.4% para el CO2, a su vez 0.9% para el O2, un 3.1% para el CO y 84.5% para la concentración del nitrógeno, los cuales presentaban un peso molecular seco de 29.86g/g-mol. Por otra parte, el volumen del Dióxido de carbono presento un total de 11.4 ml, mientras que el del Oxígeno presentó 12.3 ml y finalmente el volumen del monóxido de carbono ascendió a 15.5 ml.

**Tabla 9. Composición del gas de la chimenea**

| Datos de análisis de gas | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Muestra | Carbono | | Carbono | Carbono | | Carbono | | Peso | Desviación |
| Análisis | Dióxido | Oxígeno | Monóxido | Dióxido | Oxígeno | Monóxido | Nitrógeno | Molecular | Peso |
| Hora | Volumen | Volumen | Volumen | Conc. | Conc. | Conc. | Conc. | Seco | Molecular |
| | ($V_{CO2}$) | ($V_{O2}$) | ($V_{CO}$) | (%$CO_2$) | (%$O_2$) | (%CO) | (%$N_2$) | ($M_d$) | ($DM_d$) |
| | ml | ml | ml | % | % | % | % | g/g-mol | g/g-mol |
| | 11.4 | 12.3 | 15.5 | 11.4 | 0.9 | 3.1 | 84.5 | 29.86 | 0.00 |
| | 11.4 | 12.3 | 15.5 | 11.4 | 0.9 | 3.1 | 84.5 | 29.86 | 0.00 |
| | 11.4 | 12.3 | 15.5 | 11.4 | 0.9 | 3.1 | 84.5 | 29.86 | 0.00 |
| | **Resultados** | | Promedios | 11.4 | 0.9 | 3.1 | 84.5 | 29.86 | |

Fuente: Elaboración propia.

**MÉTODO 4 - DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN GASES DE CHIMENEA**

Para poder determinar el contenido de humedad de los gases en la chimenea se necesitan tener en cuenta algunos parámetros de partida, entre los cuales constan la temperatura, presión, y volumen a medir, dichos parámetros se detallan en la tabla 9, posteriormente se halló el contenido de humedad.

**Tabla 10. Datos para determinar el contenido de humedad**

| Datos de contenido de humedad | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen total del medidor | ($V_m$) | 1.246 | Dcm | Prensa barométrica. | ($P_b$) | 740.00 | mm Hg |
| Temperatura media del | ($t_m$) | 32 | ºC | Apilar prensa | ($P_{estáti}$ | 6.20 | mm |

| Datos de contenido de humedad | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| medidor | $_{Avg}$ | | | estática. | $_{co}$) | | $H_2O$ |
| Temperatura media de la pila | $(t_s)_{Avg}$ | 617 | $^oC$ | Prensa de orificio medio. | $(DH)_{avg}$ | 46.50 | mm $H_2O$ |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se representan los datos del contenido de humedad, pudiendo nominar como los más importantes al volumen total con 133.0ml el peso total fue de 29.92 gramos, el porcentaje del contenido de humedad corresponde a un valor del 17%, mientras que el volumen del agua condensada fue de 0.177Scm, de esta manera el contenido de humedad final se estableció en 17%

**Tabla 11. Resultados del contenido de humedad**

| Resultados | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen total | $(V_t)$ | 133.0 | ml | Volumen de Agua Condensada | $(V_{wc(std)})$ | 0.177 | Scm |
| Peso total | $(W_t)$ | 29.92 | g | Volumen de agua pesado | $(V_{wsg(std)})$ | 0.040 | Scm |
| Volumen del medidor Std | $(V_{m(std)})$ | 1.061 | dscm | Contenido de humedad | $(B_{ws(svp)})$ | 100.0 | % |
| Contenido de humedad de Calc | $(B_{ws(calc)})$ | 17.0 | % | Contenido de humedad final | $(B_{ws})$ | 17.0 | % |

**scm:** metros cúbicos estándar.

Fuente: Elaboración propia.

**MÉTODO 5 - DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE PARTÍCULAS – RESULTADOS**

A partir de las fórmulas expresadas en el apartado de metodología se procedió a calcular el coeficiente del tubo de Pitot, generando como resultado un valor de 0.848, el factor isocinético determinado para el muestreo obtuvo un valor de 0.7; los demás factores de la ecuación se identifican en la tabla 10.

**Tabla 12. Diámetro de la boquilla**

| Diámetro de boquilla ideal y configuración del factor isocinético | | | |
|---|---|---|---|
| Coeficiente del tubo de Pitot | $(C_p)$ | 0.848 | |
| Temperatura media de la chimenea | $(t_s)$ | 618 | $^oC$ |
| Temperatura media del medidor de gas | $(t_m)$ | 32 | $^oC$ |
| DH @ 0.75 SCFM | (DH@) | 50.53 | mm $H_2$ |
| Presión media del tubo de Pitot | $(Dp_{avg})$ | 65.93 | mm $H_2$ |

**acmm:** metros cúbicos reales por minuto.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 13. Reporte general de los gases**

| | | Gas seco | | Deseado | Real | | | Metro | | Impinger | | Raiz | Pila | Medida del | Acumulativo | Est-Run |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Atravesar Punto # | Muestreo Hora (Q) min | Metro Lectura ($V_m$) $m^3$ | Velocidad Cabeza (Dp) mm $H_2O$ | Orificio DH (DH) mm $H_2O$ | Orificio DH (DH) mm $H_2O$ | Pila Temp ($t_s$) °C | Sonda Temp ($t_p$) °C | Salida Temp ($t_{mo}$) °C | Filtro Temp °C | Salida Temp °C | Bomba Vacío mm Hg | Cuadrado DP ($Dp^{1/2}$) $(mm\ H_2O)^{1/2}$ | local Velocidad ($v_s$) $_l$ m/s | Volumen acumulativo ($V_m$) $_{ETS}$ Scm | Por ciento IsoCinética (I) % | Metro Volumen ($V_m$) $_{ETS}$ Scm |
| A-1 | 0.0 | 486.753 | 52.00 | 36.546 | 36.000 | 555 | 120 | 30 | 114 | 14 | 254.0 | 7.21 | 42.86 | 0.120 | 95.9 | 0.957 |
| A-2 | 7.5 | 486.893 | 54.00 | 37.952 | 38.000 | 579 | 120 | 31 | 120 | 14 | 266.7 | 7.35 | 44.30 | 0.243 | 97.2 | 0.973 |
| A-3 | 15.0 | 487.038 | 62.00 | 43.575 | 44.000 | 596 | 120 | 31 | 122 | 15 | 317.5 | 7.87 | 47.94 | 0.374 | 97.5 | 0.997 |
| A-4 | 22.5 | 487.191 | 68.00 | 47.791 | 48.000 | 616 | 120 | 32 | 118 | 15 | 342.9 | 8.25 | 50.78 | 0.511 | 97.9 | 1.021 |
| A-5 | 30.0 | 487.352 | 70.00 | 49.197 | 50.000 | 625 | 120 | 32 | 120 | 16 | 355.6 | 8.37 | 51.78 | 0.646 | 97.7 | 1.033 |
| A-6 | 37.5 | 487.511 | 74.00 | 52.008 | 52.000 | 649 | 120 | 32 | 120 | 15 | 355.6 | 8.60 | 53.95 | 0.780 | 97.2 | 1.040 |
| A-7 | 45.0 | 487.669 | 74.00 | 52.008 | 52.000 | 655 | 120 | 32 | 120 | 16 | 355.6 | 8.60 | 54.12 | 0.916 | 97.1 | 1.047 |
| A-8 | 52.5 | 487.829 | 74.00 | 52.008 | 52.000 | 657 | 120 | 32 | 120 | 16 | 355.6 | 8.60 | 54.18 | 1.061 | 97.8 | 1.061 |
| Último Pt | 60.0 | 487.999 | | | | | | | | | | | | | | |
| Último Pt | 60.0 | 487.999 | | | | | | Vacío máximo | | | 355.6 | Valores finales | | 1.061 | 97.8 | |
| Valores medios | | | 66.00 | | 46.50 | 617 | 120 | 32 | 119 | 15 | | 8.11 | 49.99 | | | |

**scm:** metros cúbicos estandar

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Se realizó el muestreo isocinético de un generador eléctrico de1050Kw a gas, estableciéndose 8 puntos de muestreo en su chimenea circular, estableciéndose una velocidad media del gas en la chimenea de 50,1 m/s, un caudal seco de 53 metros cúbico estándar seco por minuto y un caudal húmedo de 212 ascm/min.

Al revisar el índice cinético (I) cuyo rango se encuentra entre 95-98 %, dando la certeza que el muestreo de material particulado se lo realizó en condiciones isocinéticas debido a que, se encuentra entre el rango permitido descrito por la técnica que es de 90-100 %.

Se determinó que la composición del gas de la chimenea del generador eléctrico estaba compuesta en un 84,5% de Nitrógeno (N), 3,1% de Monóxido de Carbono (CO), 0,9% de Dióxido de Carbono ($CO_2$) y 11,4% de oxígeno ($O_2$), mientras que la composición volumétrica fue de 15,5ml de CO, 14,4ml de $CO_2$, de un 12,3ml de $O_2$, estos valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles contemplados en la norma para emisiones de motores de combustión interna.

Se pudo establecer que el contenido de humedad del gas de la chimenea ascendía a 133ml representando el 17% de todo el contenido el gas de chimenea, este porcentaje representó 29,92 gramos, estableciendo estos valores dentro de los límites máximos permisibles de concentraciones de emisión al aire para motores de combustión interna.

## REFERENCIAS

Arenas, J., Marín, J., Del Ángel, J., León, H., Gonzales, L., & León, A. (2016). Estudio isocinético de los gases de emisión de una caldera instalada en un ingenio azucarero. *Ingenienates, 1*(1), 8-14.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero en el sector Transporte.* Washington.

Castro, L., Ramírez, L., & Jiménez, Y. (2020). Estado del arte: sistema sostenible que disminuya el impacto de los gases efecto invernadero en los sectores industriales, de transporte y metalmecánicos. *Corporación Universidad de la Costa*.

Condor, D., & Ronald, E. (2018). Trabajo de Grado. *Determinación de material particulado en fuentes fijas a través del muestreo isocinético utilizando la metodología (EPA 5) realizado en el horno de fusión área de ensayos al fuego de la Empresa Certimin S.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú.

Echeverri, C. (2006). *Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas.* http://www.ingenieroambiental.com/4014/determinacion.pdf

Echeverri, C. (2006). *DETERMINATION OF PARTICULATE MATTER EMISSION FROM STATIONARY SOURCES.* Medellín: Universidad de Antioquia.

Echeverri, C. (2019). *Contaminación atmosférica.* U. https://books.google.com.ec/books?id=QzSjDwAAQBAJ&pg=PA281&lpg=PA281&dq=Este+m%C3%A9todo+es+aplicable+para+determinar+las+concentraciones+de+CO,+CO2,+y+O2,+aire+en+exceso+y+la+masa+molar+seca+de+la+muestra+de+una+corriente+de+gas+de+un+proceso+de+combusti

Feng, Y., Wei, J., Hu, M., Xu, C., Li, T., Wang, J., & Chen, W. (2018). Lagged Effects of Exposure to Air Pollutants on the Risk of Pulmonary Tuberculosis in a Highly Polluted Region. *Environmental Research and Public Health, 19*(9), 5752.

Haro, J. (2009). Trabajo de Grado. *Implementación de la Norma ISO IEC 17025:2005 para la acreditación de la determinación de material particulado en fuentes fijas de combustión.* Escuela Politécnica Nacional.

Heredia, D., & Páez, D. (2008). Trabajo de Grado. *Monitoreo de las emisiones de combustión en fuentes fijas en industrias del Cantón Rumiñahui.* Escuela Politécnica del Ejercito.

Laverde, A. (2014). Tesis de Posgrado. *Programa de protección contra caidas en trabajo en alturas para trabajadores que realizan muestreos isocinéticos.* Escuela Colombiana de Carreras Industriales-EECI.

López, J. (2001). Tesis de Posgrado. *Caracterización de elementos traza en carbones y productos de combustión.* Universidad de Dacoruña.

Meriño, C., & Torres, L. (2020). Trabajo de grado. *Evaluación del efecto de una nueva metodología de correcion de emisiones de material particulado.* Universidad del Desarrollo.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial 097: Reforma del libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente* . Quito: Ediciones Legales.

Ministrio del Ambiente. (2007). *Acuerdo Ministerial 091: Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas.* Quito: Ediciones Legales.

Rojas, N., Vargas, F., & Rodríguez, A. (2009). Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso. *Revista de Ingeniería*(30), 112-121. https://www.redalyc.org/pdf/1210/121015710009.pdf

Sanaambiente. (2019). *Muestreador Isocinético para Fuentes Fijas.* sanaambiente. com: https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-fuentes-fijas/25-muestreador-isocinetico-para-fuentes-fijas

Woodard, K. (1998). *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias.* North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency.

# 4. ANEXOS

## 4.1 MARCO TEÓRICO

### 4.1.1 Contaminación del aire

De acuerdo con el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, la contaminación del aire ocurre cuando las sustancias en la atmósfera (ya sean producidas por humanos o por procesos naturales) están presentes en concentración suficiente y en condiciones que las hacen perjudiciales para la salud y el bienestar humano o ambiental (Haro, 2009).

### 4.1.2 Material Particulado

El material particulado es el contaminante del aire más complicado porque es una combinación compleja de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que se produce como subproducto de los contaminantes gaseosos. Las emisiones de la quema de combustibles fósiles son una fuente de material particulado, mientras que el material particulado también puede ser creado por procesos químicos en la atmósfera (Haro, 2009).

Los aumentos de material particulado tienen un efecto sobre la mortalidad de niños y ancianos, y su concentración en el aire supera significativamente los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS, Air Quality Guidelines of the WHO on particulate material, 2006) citando en (Meriño & Torres, 2020).

**Formación y composición de las partículas**

Según Condor & Ronald (2018) la acción mecánica, la reacción química, la condensación y la atomización son vías viables para la formación de partículas. Pueden formarse partículas durante la manipulación y el transporte de gases de proceso. Las actividades físicas como moler y triturar también pueden producir las partículas. Las operaciones químicas, incluidos los procedimientos a alta temperatura como los que se utilizan en las fundiciones, pueden dar lugar a la formación de partículas, algunas de las cuales incluyen metales volátiles. El material particulado, ya sea carbón sólido o partículas propias, se libera a la atmósfera tras la combustión incompleta del carbón.

La condensación y las reacciones químicas son dos fuentes de partículas líquidas. Dependiendo de la temperatura, es posible que las partículas líquidas no se creen hasta que hayan pasado por la chimenea.

### 4.1.3 Tamaño de Partículas

Dependiendo de sus dimensiones, las partículas liberadas por la chimenea serán

de diferentes formas y tamaños. Las partículas creadas por la actividad física a menudo no son esféricas, mientras que las creadas por condensación o reacciones químicas tienden a ser redondas. El diámetro de una partícula es una medida de su tamaño. Es probable que las partículas de más de 10 μm se asienten o se caigan de la corriente de gas, mientras que las partículas de menos de 1 μm son difíciles de recolectar, ya que las gotas de agua pueden dispersarlas a otras superficies de recolección, lo que hace que este rango de tamaño sea óptimo para los precipitadores electrostáticos (Condor & Ronald, 2018)**.**

**Gases contaminantes**

**Dióxido de Azufre (SO2)**

El disulfuro de carbono (SO2) es un subproducto de varios procesos industriales, incluidos los que se utilizan para fabricar acero y alimentos como la fundición y el tostado (combustión de compuestos formados por carbono, azufre). concentraciones de este contaminante superiores a 20 partes por millón irritan las vías respiratorias, la faringe y los ojos. Se disuelve en agua y puede transportar a distancias considerables con poco esfuerzo y tiene la tasa de contribución más alta entre las fuentes estacionarias, además de ser muy corrosivo (Condor & Ronald, 2018)**.**

**Óxidos de Nitrógeno**

A altas temperaturas, el gas nitrógeno interactúa para producir óxido nítrico (NO), que se oxida rápidamente para producir óxido nitroso ($NO_2$), es un gas responsable del efecto invernadero. Los óxidos de nitrógeno, es un gas de color marrón muy nocivo al respirar, se generan mayoritariamente en las centrales térmicas. Como precursor del smog fotoquímico, el ozono se forma cuando los óxidos de nitrógeno reaccionan con moléculas orgánicas volátiles a bajas altitudes en la atmósfera en presencia de la luz solar (Condor & Ronald, 2018).

### 4.1.4 Isocinetismo

Correlación entre la velocidad promedio del gas en el conducto o chimenea en el momento del muestreo y la velocidad promedio de succión utilizada para recopilar datos de emisiones (Heredia & Páez, 2008).

#### 4.1.4.1 Muestreo en Chimenea

Las emisiones de la chimenea de la central térmica se muestrean en un esfuerzo por obtener un subconjunto representativo mediante el muestreo de fase gaseosa. Las emisiones tienen dos componentes: la fase particulada, que está formada por

las partículas que lo hacen pasar por precipitadores electrostáticos y electro filtros, y la fase gaseosa, que está formada por todos los elementos y compuestos que se vaporizan a las altas temperaturas de combustión.

#### 4.1.4.2 Muestreo Isocinético

Según el López (2001) para medir las partículas en ml de forma representativa, se utiliza un muestreador isocinético, en este ejemplo una bomba que aspira los gases de emisión a la misma velocidad que los gases de escape en el conducto de la chimenea. Aunque un conducto parezca tener un flujo laminar, su velocidad variará según el lugar del conducto en el que se tomen las muestras.

Existe una amplia gama de aplicaciones en las que sería útil medir las velocidades de los gases, desde la industria hasta la academia e incluso el ámbito recreativo; cada uno de estos usos tiene su propio conjunto de requisitos metodológicos, que pueden ser más o menos estrictos según la importancia de la decisión a tomar en función de los resultados. Debido a esto, es importante asegurarse de que los datos de velocidad del gas se puedan rastrear y tengan niveles de incertidumbre que sean adecuados para su uso previsto (Laverde, 2014).

#### 4.1.4.3 Muestreador isocinético

Es una herramienta crucial para recopilar muestras precisas de emisiones. Según el tipo de recolección que se realice, hay varios tipos disponibles que pueden operarse de forma manual o semiautomática y pueden adaptarse a una amplia gama de accesorios (portafiltros, ciclones anteriores, impactadores) (Sanaambiente, 2019).

### 4.1.5 Muestreo de las emisiones contaminantes

Se toman muestras de la emisión para medir la concentración del contaminante y el flujo del gas portador, de lo cual se puede deducir el flujo másico del contaminante. El muestreador de pila se utiliza para recolectar estas muestras. La isocinética de muestreo se refiere al proceso de tomar una muestra a la misma velocidad a la que se transportan los contaminantes en una tubería. Esto asegura que no se produzca una separación mecánica de los contaminantes del gas portador durante el proceso de muestreo (Echeverri, Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas, 2006).

### 4.1.6 Norma de calidad de aire

Con el fin de salvaguardar la salud humana y el medio ambiente natural, se especificó un valor umbral como la concentración más alta permitida de un

contaminante del aire a nivel del suelo durante un período de muestreo promedio. Si se determina que los niveles de contaminantes superan los niveles máximos permitidos fuera de los límites de propiedad de las entidades reguladas, los niveles se aplicarán a las entidades reguladas (Heredia & Páez, 2008).

### 4.1.7 Métodos del muestreo isocinético

#### 4.1.7.1 Determinación de la localización de muestreo y sus puntos transversales

Este método es utilizado para seleccionar la localización en donde se va a relazar el muestreo (López, 2001).

#### 4.1.7.2 Para determinación de la velocidad del gas en la chimenea y su flujo volumétrico

Esta técnica se utiliza para realizar una investigación preliminar de la velocidad de cruce y determinar la velocidad del gas afluente. Durante el período de muestreo de la tasa de muestreo isocinético, la tasa de muestreo se impulsa de forma sincrónica con el propio muestreo. La aspiración del gas a través de burbujeadores vacíos y luego a través de dos cargados con gel de sílice permite determinar el contenido húmedo. Los cálculos finales se realizan utilizando los volúmenes iniciales y finales conocidos (Echeverri, 2006).

#### 4.1.7.3 Determinación de concentraciones de $CO_2$ Y $O_2$ y el peso molecular seco

El presente método es aplicable por determinación del peso molecular seco y factores de corrección de excesos de aire de fuentes de combustión de combustibles fósiles. Se realizan medidas de los siguientes gases en chimenea: $CO_2$, $O_2$, $N_2$ Y CO (López, 2001).

#### 4.1.7.4 Determinación de neblinas de gases en chimeneas

Para estimar el porcentaje de turbidez en cada rata de muestra isocinética, se aplican los métodos de aproximación (López, 2001).

#### 4.1.7.5 Usado en conjunto con el método 1 hasta el 4 para la determinación de partículas de emisiones desde fuentes estacionarias

Utilizando un filtro de fibra de vidrio mantenido a una temperatura de 120 +/- 14 °C, las partículas se eliminan isocinéticamente de las fuentes y se recolectan. Tan pronto como se extrae el agua, las masas de partículas se pueden calcular gravimétricamente (Echeverri, 2006).