UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“MUESTREO ISOSINÉTICO DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN CHIMENEAS DE TURBINAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A DIÉSEL”

AUTOR(ES):

Jiménez Tapia Thalía Rosario

Naranjo Espinosa Karen Stephanie

DOCENTE - TUTOR:

Msc. Paul Marcelo Manobanda Pinto

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. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	4/5	Si cumple las expectativas, sin embargo lo han escrito todo en mayúsculas cuando la guía metodológica indica que solo la primera palabra lleva mayúsculas y los nombres propios en el título
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Sí cumple, ya que sigue los lineamientos de la guía metodológica: tipo de investigación, objetivos, conclusiones.
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	Sí cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Sí cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Sí cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Si cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8/10	Sí cumple, se solicitó adjuntar una información en marco teórico para poder entender las conclusiones pero no se atendió la recomendación
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Sí cumple
VALORACIÓN TOTAL	97	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	97

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 7 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. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	3/5	Establecer el titulo acorde a lo que determina la guía metodológica. (Tipo de letra y forma de presentación)
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. 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.	18/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	23/25	
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9/10	Mejorar la redacción
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	91/100	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	91/100

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 10 días del mes de agosto de 2022

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

Puyo, 3 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Thalía Rosario Jiménez Tapia, con C.I. 2200392849, con el Tema: "Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbina de generación eléctrica a diésel", 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 1%, Informe generado con fecha 3 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

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	U_Tesis_Final_isocinético.docx (D142641374)
Submitted	8/3/2022 11:44:00 PM
Submitted by	MANOBANDA PINTO PAUL MARCELO
Submitter email	pmanobanda@uea.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	pmanobanda.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**submission.pdf** Document submission.pdf (D136371124)	1
SA	**Dávalos_Checco_José_Luis_Titulo_Profesional_2016.pdf** Document Dávalos_Checco_José_Luis_Titulo_Profesional_2016.pdf (D29205694)	1

Entire Document

Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbina de generación eléctrica a diésel Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental (1)

Resumen

El presente estudio analiza los datos proporcionados por la empresa HETWEN correspondientes a muestras obtenidas de una chimenea de emisiones atmosféricas de una turbina de generación eléctrica de 5 MW a diésel, para lo cual se utilizó los métodos de muestreo isocinético, utilizando la norma técnica 40 CFR PART 60 APP A (US EPA, 1991); se determinó los parámetros del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica a diésel mediante la utilización del Método 5 — determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias, para finalmente, evaluar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente, contemplada en el Acuerdo Ministerial 91 del Ministerio de Energía y Minas (RO 430) y la “Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas” del Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Los resultados indican que sedeben utilizar cinco métodos en secuencia para la determinación de material particulado; el análisis indica que el índice isocinético presenta un porcentaje de I= 77.7%, con un valor de masa de las partículas de 40.7 mg. Concluyendo que, de acuerdo a los datos analizados el muestreo isocinético no cumple con las especificaciones técnicas para considerar que se ha mantenido el isocinetismo de muestreo. Palabras Clave: tren isocinético, contaminación atmosférica, fuentes fijas, turbinas de generación eléctrica.

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

Puyo, 3 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Karen Stephanie Naranjo Espinosa, con C.I. 1850677392, con el Tema: "Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbina de generación eléctrica a diésel", 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 1%, Informe generado con fecha 3 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

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	U_Tesis_Final_isocinético.docx (D142641374)
Submitted	8/3/2022 11:44:00 PM
Submitted by	MANOBANDA PINTO PAUL MARCELO
Submitter email	pmanobanda@uea.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	pmanobanda.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**submission.pdf** Document submission.pdf (D136371124)	1	
SA	**Dávalos_Checco_José_Luis_Titulo_Profesional_2016.pdf** Document Dávalos_Checco_José_Luis_Titulo_Profesional_2016.pdf (D29205694)	1	

Entire Document

Muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbina de generación eléctrica a diésel Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental (1)

Resumen

El presente estudio analiza los datos proporcionados por la empresa HETWEN correspondientes a muestras obtenidas de una chimenea de emisiones atmosféricas de una turbina de generación eléctrica de 5 MW a diésel, para lo cual se utilizó los métodos de muestreo isocinético, utilizando la norma técnica 40 CFR PART 60 APP A (US EPA, 1991); se determinó los parámetros del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica a diésel mediante la utilización del Método 5 — determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias, para finalmente, evaluar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente, contemplada en el Acuerdo Ministerial 91 del Ministerio de Energía y Minas (RO 430) y la “Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas” del Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Los resultados indican que sedeben utilizar cinco métodos en secuencia para la determinación de material particulado; el análisis indica que el índice isocinético presenta un porcentaje de I= 77.7%, con un valor de masa de las partículas de 40.7 mg. Concluyendo que, de acuerdo a los datos analizados el muestreo isocinético no cumple con las especificaciones técnicas para considerar que se ha mantenido el isocinetismo de muestreo. Palabras Clave: tren isocinético, contaminación atmosférica, fuentes fijas, turbinas de generación eléctrica.

"MUESTREO ISOSINÉTICO DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN CHIMENEAS DE TURBINAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A DIÉSEL"

Jiménez Tapia Thalia Rosario[1]
amb2016089@uea.edu.ec

Naranjo Espinosa Karen Stephanie[1]
amb2016110@uea.edu.ec

Manobanda Pintio Paúl, M.Sc[2]
pmanobanda@uea.edu.ec

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

Resumen

El presente estudio analiza los datos proporcionados por la empresa HETWEN correspondientes a muestras obtenidas de una chimenea de emisiones atmosféricas de una turbina de generación eléctrica de 5 MW a diésel, para lo cual se utilizó los métodos de muestreo isocinético, utilizando la norma técnica 40 CFR PART 60 APP A (US EPA, 1991); se determinó los parámetros del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica a diésel mediante la utilización del Método 5 – determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias, para finalmente, evaluar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente, contemplada en el Acuerdo Ministerial 91 del Ministerio de Energía y Minas (RO 430) y la "Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas" del Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Los resultados indican que se deben utilizar cinco métodos en secuencia para la determinación de material particulado; el análisis indica que el índice isocinético presenta un porcentaje de I= 77.7%, con un valor de masa de las partículas de 40.7 mg. Concluyendo que, de acuerdo a los datos analizados el muestreo isocinético no cumple con las especificaciones técnicas para considerar que se ha mantenido el isocinet ismo de muestreo.

Palabras Clave: tren isocinético, contaminación atmosférica, fuentes fijas, turbinas de generación eléctrica.

Abstract

The present study analyzes the data provided by the company HETWEN, corresponding to samples obtained from an atmospheric emissions chimney of a 5 MW diesel-powered electric generation turbine, for which the isokinetic sampling methods were used, using the technical standard 40 CFR PART 60 APP A (US EPA, 1991), the parameters of the isokinet ic sampling of particulate matter emissions in diesel power generation turbine chimneys were determined using Method 5 - determination of particulate matter emissions in stationary sources, finally, to evaluate the results obtained with the current legal regulat ions, contemplated in Ministerial Agreement 91 of the Ministry of Energy and Mines (RO, 430) and the "Standard of Air Emissions from Fixed Sources" of Ministerial Agreement 097-A of the Ministry of the Environment of Ecuador. The results indicate that five methods should be used in sequence for the determination of particulate matter, the analysis indicates that the isokinetic index has a percentage of I= 77.7%, with a particle mass value of 40.7 mg. Concluding that, according to the analyzed data, the isokinetic sampling does not comply with the technical specifications to consider that the sampling isokinetism has been maintained

Keywords*:* isokinetic train, atmospheric emissions, stationary sources, power generation turbines

1. INTRODUCCIÓN

El inicio de la contaminación atmosférica empezó con la revolución industrial, esto ocurrió debido a la fabricación de maquinaria y al consumo excesivo de energía mediante la quema de madera y combustibles fósiles. En un intento de controlar esta problemát ica, Estados Unidos de América establece la ley para el control de la contaminación del aire creando así la entidad gubernamental denominada Agencia de Protección Ambiental (US EPA), siendo una de sus funciones desarrollar métodos analíticos para la medición de contaminantes (López, P. & A. Ferro, 2006), y elaborar normas nacionales de calidad del aire ambiente (con sus siglas en inglés NAAQS), que se establecieron por primera vez en el año de 1971 (Woodard, K. 1998).

En las últimas décadas, Ecuador ha experimentado un desarrollo industrial, en

especial el campo hidrocarburífero y de motores de combustión interna que ha dado lugar a un aumento en la concentración de determinados contaminantes atmosféricos (CO, CO2, PM10, PM2.5, óxidos de azufre e hidrocarburos) disminuyendo la calidad del aire. Su presencia no solo genera afecciones sobre el medio natural, sino también sobre la salud de las personas (Márquez, 2021).

El material particulado (PM) es el más complejo de los contaminantes del aire, esto se debe a que es un subproducto de contaminantes gaseosos, resultando ser una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. Se localiza como contaminante en el ambiente como el resultado de la mezcla de un sustrato o base sólida con sustancias o contaminantes condensables que se unen a este, algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista, otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico (EPA, 2021).

Científicos a nivel mundial han centrado sus investigaciones sobre los efectos tóxicos de las partículas finas (PM2.5) debido a que estas tendrían la probabilidad de penetrar e interactuar con las células del tejido pulmonar, mientras que las partículas más grandes (PM10) quedarían retenidas en las vías respiratorias, produciendo efectos a nivel del sistema respiratorio. Se ha demostrado que ciertas partículas ultra finas (como el pireno, hidrocarburo policíclico aromático) pueden llegar afectar considerablemente al sistema inmunoló gico (Instituto para la Salud Geoambiental, 2013).

Varias son las fuentes de emisión de PM, siendo una de las más comunes las emitidas por fuentes fijas de contaminación, dentro de este grupo podemos encontrar las plantas eléctricas que funcionan con turbinas a diésel, cuyas emisiones provenientes de los motores que son conducidas por tuberías hasta llegar a las chimeneas, las cuales emiten a la atmósfera gases contaminantes (LORAX, 2005). La medición de la contaminación producida por esta actividad se la puede realizar mediante un muestreo isocinético, en el cual la velocidad y dirección del gas que entra en la sonda de muestreo son las mismas que las del gas en el conducto o chimenea. Los muestreadores isocinéticos son equipos de muestreo adaptados para cumplir con los métodos de la US EPA, constan de un tren de muestreo y una bomba succionadora (consola) manual o automática complementada con una serie de

vidriería, tubos de pitot y accesorios que permiten realizar el muestreo (MAE, 2015). Para regular los niveles de contaminación, el Estado Ecuatoriano ha establecido la Norma de Emisiones al aire desde fuente fijas estableciendo los límites máximos permisibles de concentración de emisión de contaminantes (MAE, 2015).

La presente investigación se encuentra dentro de la línea de Investigación de Gestión y Conservación Ambiental, debido a que analizó los resultados del muestreo isocinético de las emisiones de una chimenea, cuyos datos fueron facilitados por la empresa HETWEN, planteándose como objetivo general "Evaluar los parámetros obtenidos del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica que utiliza como combustible diésel". Para su cumplimiento se han planteado los siguientes objetivos específicos: Identificar los métodos de muestreo isocinético, determinar los parámetros del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica a diésel y evaluar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente aplicable.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo documental, debido a que utilizó datos secundarios a los que se aplicó análisis, identificación, selección y articulación de los mismos, además de relacionarlos con el objeto de estudio, dirigiendo la investigación desde dos aspectos, el primero que esta relacionando con el análisis de datos reales inéditos existentes que proceden de distintas fuentes documentadas y/o bibliográficas y un segundo que proporciona una visión panorámica y sistemática de una determinada cuestión elaborada en múltiples fuentes dispersas (Barraza, 2018).

Para la identificación de los métodos de muestreo isocinético se utilizó la norma técnico legal de Estados Unidos, descritos en el Código de Regulaciones Federales: 40 CFR PART 60 APP A (US EPA, 1991), que está relacionada con los programas de aire y las normas de rendimiento para nuevas fuentes estacionarias.

Para la determinación de parámetros del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica a diésel, se utilizó la base de datos entregados por la empresa "HETWEN", de los monitoreos a diferentes turbinas de generación eléctrica realizados entre los meses de enero a junio de 2022, utilizando como

referencia el Método 5 – determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias del código CFR 40 parte 60 (Guerrero, 2011) y.

Para Evaluar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente aplicable se utilizaron los enunciados mencionados como métodos de referencia, presentes en los "Métodos de muestreo y medición de emisiones de combustión" de la norma ambienta l vigente para la industria hidrocarburífera del Acuerdo Ministerial 91 del Ministerio de Energía y Minas, publicado en el Registro Oficial 430 el 04 de enero de 2007 (MINEM, 2007), en el que se acuerda "Fijar los límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas", así como los indicadores presentes en los "Métodos de medición", referente a la Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas, establecidas en el Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador, publicado en la Edición Especial del Registro Oficial 387, 4 de noviembre de 2015 (MAE, 2015).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de los datos se pudo obtener los siguientes resultados acorde con los objetivos específicos planteados.

3.1. Identificación de los métodos de muestreo isocinético

En la norma de rendimiento para nuevas fuentes estacionarias, en su apéndice A, se señala cinco métodos para la determinación de Material Particulado por medio del muestreo isocinético (Tabla 1). Para comprender la aplicabilidad cada método, se realizó la descripción de cada uno de ellos en base a: sus principios, a su aplicabilidad durante el proceso de medición, lugar de ubicación en la chimenea y las adecuaciones que se deben considerar previo a la toma de muestras:

Tabla 1. *Métodos de control de emisiones de contaminantes y/o los caudales de una fuente estacionaria establecidos por US EPA.*

Método	Principio	Aplicabilidad	Localización en la Chimenea	Adecuación el Sitio
Método 1: Localización de los puntos de muestreo	Corriente en la chimenea que fluya en una dirección conocida. División de la sección transversal de la chimenea en un número de áreas iguales. Localiza un punto de travesía dentro de cada área.	En chimeneas con: 1. Flujo ciclónico o turbulento 2. Ø Chimenea < 0.3m o área trans< 0.071 m^2 3. Sitio de medición menos de dos ø de chimenea o ducto corriente menos de medio diámetro corriente arriba después de una perturbación	**Ideal (flujo Laminar)** Ø= 8 corriente debajo de una perturbación y Ø= 2 corriente arriba antes de una perturbación **Representativo** Ø= 2 corriente debajo de una perturbación Ø= 0.5 corriente arriba antes de una perturbación **Ideal (flujo Laminar)** Ø= 0.3m corriente debajo de una perturbación Ø= 2 corriente arriba antes de una perturbación **Representativo** Ø= 2 corriente debajo de una perturbación Ø= 0.5 corriente arriba antes de una perturbación	Requisitos: -Plataforma sea amplia y resistente. - De fácil acceso. - Con suministro de energía eléctrica (110 V C.A.). -Protección necesaria para evitar los cortos circuitos y choques eléctricos. - Para ductos rectangulares se divide en áreas iguales (mínimo 9) y - Se muestrea en los puntos medios de dichas áreas. - Para chimeneas rectangulares, dividir la sección transversal en áreas rectangulares como puntos de muestreo, - Para chimeneas con diámetro: **Ideal (Ø>0.3m).-** Ubicar el sitio a Ø= 8 corriente abajo después de una perturbación y Ø=10 corriente arriba. **Representativo Ø<0.2m**).- Ubicar el sitio a Ø=2.5 corriente arriba antes No se aplica en flujo turbulento
Método 2: Determinación de la velocidad del gas en la chimenea y el caudal (tubo	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	Mide la velocidad del gas en la chimenea Mediante la velocidad (*V*) promedio de una corriente de gas y para cuantificar el *Q* del gas, con presiones (*P*)		

Pitot tipo s).	tubo Pitot tipo “S”.	estables de 15 segundos
	Se verifica la velocidad de presión si existe un 5% de diferencia entre los orificios de presión absoluta y estática	Se relaciona La *V* del gas en la chimenea se relaciona con la *P* de *V*
	Para ductos Ø<0.30 m, la velocidad del gas debe medirse usando un tubo Pitot estándar. La velocidad de gas se mide usando un tubo Pitot estándar corriente abajo del sitio real de muestreo de la emisión. La distancia del ducto entre el sitio de muestreo de partículas y el sitio de medición de la velocidad permiten que el perfil de flujo, temporalmente perturbado por la presencia de la sonda, se vuelva a desarrollar y a estabilizar.	
	No se aplica a flujos turbulentos y es aceptable solo cuando la deviación de velocidad de presión no exceda el 10%.	
	El tubo pitot “S” se utiliza para mediciones de campo en chimeneas Ø>0.30m, EL tubo pitot estándar se utiliza para la calibración de los tubo pitot en “S” o para las mediciones de	

	campo en chimeneas con Ø<0.30m.		
Método 3: Determinación de la masa molar del gas.	Una muestra de gas se extrae de la chimenea. Se analiza en la muestra de gas los porcentajes CO2, O2 y CO Para determinación de la masa molar (M) seca y el aire en exceso se debe usar para el análisis un analizador Orsat o un analizador específico (método 100).	Determina las concentraciones de CO, CO2 y O2, aire en exceso y M 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	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 determinando volumen. Luego, se pasa el gas al recipiente que contiene una solución concentrada de KOH que absorbe el CO2; 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.
Método 4: Determinación del contenido de humedad en los gases de la chimenea.	Determinar el contenido de humedad del gas de 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.	Se aplican dos métodos: El primero es un método de referencia, para determinaciones exactas del contenido de humedad El segundo es un método aproximado que suministra estimativos del porcentaje de humedad para ayudar en el establecimiento del muestreo isocinético con anterioridad a la medición de la emisión de contaminantes	
Método 5: Determinación de la emisión de Material Particulado de	El material particulado es succionado isocinéticamente de la fuente y colectado sobre un filtro de fibra de vidrio que	Es aplicable para fuentes fijas o estacionarias.	

Fuentes Estacionarias.	se mantiene a una temperatura de 120 ± 14 °C. El material particulado, que incluye cualquier material que se condensa a la temperatura de filtración , es determinada gravimétricamente después de la remoción del agua no combinada. El material particulado se puede obtener al pesar: el filtro; la sonda; los burbujeadores y el solvente de extracción para permitir el ajuste de la determinación de material particulado para ser consistente con la regulación aplicable.	

Fuente: (US EPA, 1991).
Elaboración propia.

3.2. Determinación de los parámetros del muestreo isocinético de emisiones de material particulado en chimeneas de turbinas de generación eléctrica a diésel

La determinación de los datos obtenidos de la chimenea de la turbina de generación eléctrica a diésel, se obtuvieron aplicando las fórmulas presentadas en los anexos, donde los resultados para cada uno de los métodos de análisis del material particulado mediante muestreo isocinético se detallan a continuación.

3.2.1. Análisis de datos obtenidos en el método 1

Se debe considerar que el objetivo del método 1, consiste en la determinación de los puntos de muestreo, para lo cual se debe considerar que, la turbina de generación eléctrica descrita en este estudio genera 5 MW de electricidad y tiene una chimenea circular de 11.2 metros de altura, distancia que es medida desde la última perturbación del flujo hasta la salida de las emisiones. En la Tabla 2, se presenta las medidas necesarias para realizar los cálculos descritos en el Método 1 de la EPA respecto al diámetro de esta

Tabla 2. *Obtención de las mediciones de la chimenea.*

Distancia a la pared lejana de la chimenea	(L_{fw})	1.75	m
Distancia a la pared cercana de la chimenea	(L_{nw})	0.15	m
Diámetro de la chimenea	(D)	1.60	m
Área de la chimenea	(A_s)	2.01	m^2
Distancia flujo superior	(B)	8.00	m
Diámetro flujo superior	(B_D)	5.00	diámetros
Distancia flujo inferior	(A)	3.20	m
Diámetro flujo inferior	(A_D)	2.00	diámetros

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empresa HETWEN, 2022
Elaboración propia.

Como se puede observar en los datos presentados en la Tabla 2, la chimenea está compuesta de dos paredes, la interna y externa, cuya diferencia de medidas nos da el diámetro nominal de la chimenea, para posteriormente realizar el cálculo simple del área de esta. Por otro lado, el método 1 de referencia, toma en consideración la distancia desde la anterior perturbación hasta el pórtico de monitoreo (B), y desde este hasta la salida de las emisio nes (A), representados en diámetros de la chimenea (B_D/A_D) respectivamente.

Tabla 3. *Ubicación de los puntos transversales en la chimenea.*

Número de punto transversal	Fracción del Diámetro de la chimenea	Distancia desde la pared interior m	Distancia incluida la longitud de la boquilla m
1	0.026	0.042	0.192
2	0.082	0.131	0.281
3	0.146	0.234	0.384
4	0.226	0.362	0.512
5	0.342	0.547	0.697
6	0.658	1.053	1.203
7	0.774	1.238	1.388
8	0.854	1.366	1.516
9	0.918	1.469	1.619
10	0.974	1.558	1.708

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empresa HETWEN, 2022
Elaboración propia.

En la Tabla 3, se presenta los puntos transversales necesarios para la realización del muestreo, tomando en consideración que, estos deben ser bien identificados en la sonda de muestreo respectivamente.

Al analizar los resultados obtenidos podemos manifestar que, el número de puntos transversales de muestreo corresponde a diez, presentándose en la tabla las distancias a las que se deberá marcar la sonda para realizar el monitoreo isocinético, aclarando que estas distancias son las que se encuentran incluidas la longitud de la boquilla.

3.2.2. Análisis de los datos obtenidos en el método 2

El objetivo del método 2 consiste en la determinación de la velocidad media del gas de la chimenea (Vs), lo cual, permite regular el equipo en campo, para tomar la muestra de material particulado a la misma velocidad, respetando el isocinetismo requerido por todo el muestreo (Tabla 4).

Tabla 4. *Datos de la composición de gases en la chimenea.*

Velocidad media del gas de la chimenea	(v_s)	22.7	m/sec
Caudal seco promedio de la chimenea	(Q_{sd})	89842	dscm/hr
Caudal seco promedio de la chimenea	(Q_{sd})	1497	dscm/min
Caudal Húmedo Promedio de la chimenea	(Q_{aw})	2736	ascm/min

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empres a HETWEN, 2022
Elaboración propia.

En la tabla 4, también se presenta los caudales seco (Qsd) y húmedo (Qaw) de la chimenea, requeridos para los cálculos del monitoreo isocinético del material particulado.

Además, se debe indicar que, el cálculo de la humedad es necesario debido a que, los resultados de material particulado sirven para expresar en gas seco.

3.2.3. Análisis de los datos obtenidos en el método 3

El objetivo del método 3, es la determinación del peso molecular del gas seco en la chimenea, para lo cual se debe realizar el análisis de los gases de combustión: CO_2, O_2, CO y cálculo del N_2, presentando sus resultados en porcentaje que muestra la Tabla 5.

Tabla 5. *Datos de la composición de gases en la chimenea.*

		Promedio	
Porcentaje de CO_2	(%CO_2)	2.4	%
Porcentaje de O_2	(%O_2)	17.8	%
Porcentaje de CO	(%CO)	0.0	%
Porcentaje de N_2	(%N_2)	79.8	%
Peso Molecular del Gas Seco	(M_d)	29.09	g/g-mole
Peso molecular del gas de la chimenea húmeda	(M_s)	28.37	g/g-mole
Factor de combustible calculado	(F_o)	1.309	
Factor F del combustible	(F_d)	1	dscf/mmBtu
Porcentaje de exceso de aire	(%EA)	5.4	%

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empresa HETWEN, 2022
Elaboración propia.

El factor de combustible (Fo) presentado es el que ha sido calculado en función a los resultados obtenidos de los gases de combustión, así como, el porcentaje de exceso de aire. Para el análisis de los gases de combustión se lo realiza por medio del método de celdas electroquímicas (CE) homologado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, debido a que, el método de referencia es el Orsat, el cual no es muy utilizado en la actualidad debido a la complejidad de operación, ya que es un método volumétrico y utiliza cristalería.

3.2.4. Análisis de los datos obtenidos en el método 4

El contenido de humedad es medido mediante el agua retenida en los impactadores, tanto en el desecante, en este caso el silica gel, así como en la trampa de agua respectivamente, su determinación se lo realiza midiendo los volúmenes y mediante gravimetría por diferencia de peso del material desecante (Tabla 6).

Tabla 6. ***Contenido de humedad***

		Promedio	
Impactadores 1-3 ganancia de volumen de agua	(V_n)	31.0	ml
Impactadores 4 aumento de peso del silica gel	(W_n)	24.7	g
Volumen total de agua colectada	(V_{lc})	55.7	ml
Volumen estándar de vapor de agua	$(V_w)_{std}$	0.074	scm
Volumen estándar medido	$(V_m)_{std}$	1.062	dscm
Humedad calculada en la chimenea	($B_{ws(calc)}$)	6.5	%
Humedad saturada en la chimenea	($B_{ws(svp)}$)	100.0	%
Contenido de humedad reportado en la chimenea	(B_{ws})	6.5	%

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empresa HETWEN, 2022
Elaboración propia.

Del análisis de los datos podemos manifestar que, el volumen de agua de los impactadores que funcionan como trampa de agua (Vn) es superior al contenido del agua retenida por el material desecante (Wn), con todos los datos presentados en la Tabla 6, se calcula nuestro parámetro de interés el contenido de humedad reportado en la chimenea (Bws).

3.2.5. Análisis de los datos obtenidos método 5

Dentro de los datos para la realización de los cálculos del material particulado, se tiene que el cálculo del factor de calibración del medidor fue de 0.971, y el coeficiente del tubo pitot fue de 0.848 y diámetro real de la boquilla fue de 5.560 mm (Tabla 7)

Tabla 75. *Tasa de Emisión.*

		Promedio	
Masa de las partículas en el filtro	(m_f)	40.7	mg
Masa de partículas en acetona	(m_a')	6.2	mg
Masa debido a la acetona	(W_a)	0.0	mg
Masa total de partículas	(m_n)	46.9	mg
Concentración de partículas en la chimenea	(c_s)	0.044	g/dscm
	(c_s)	0.682	g/dscm
Tasa de emisión de partículas	(E)	4.00	kg/h
	(E)	8.8	lb/h

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empresa HETWEN, 2022
Elaboración propia.

Al analizar los datos se puede observar que la mayor cantidad de material particulado se acumula en el filtro (m_f), mientras que, el material particulado retenido en los impactadores (m_a) es mínimo. Se debe aclarar que, la concentración de partículas en la chimenea (c_s) se presenta en gramos por metro cúbico estándar seco (g/dscm). La tasa de

emisión de partículas (E) corresponde a 4 kilogramos de material particulado por hora de emisión. A continuación, se presenta la tabla de datos del muestreo isocinético de material particulado, los mismos que, se encuentran en función a todos los datos resultados de los métodos 1 al 4, cuyos resultados han sido presentados en sus respectivas tablas.

En la Tabla 8, se presenta el número de puntos de 20, debido a que, como resultado del método 1 se obtuvo 10 puntos transversales de muestreo, más, se debe considerar que, el muestreo exige mínimo 2 pórticos de muestreo obteniendo el total de punto de muestreo s presentados. El medidor de gas seco no es más que un contador mecánico del volumen que pasa por el equipo de monitoreo. Se debe recordar que, al ser gases, los fluidos con los que se están trabajando en el monitoreo de material particulado, cumplen las leyes de gases, es por eso por lo que muchas de las medidas de velocidad se las realizan en unidades de presión. Mientras que, la medición de temperaturas permite controlar la correcta determinación de humedad y material particulado, puesto que, si las mismas no son las adecuadas, podría existir una condensación de humedad no deseada en el filtro de recolección de material particulado y una falsa concentración de humedad en el gas de la chimenea. La determinac ión del porcentaje de isocinetismo (I) se encuentra en el rango de 75-80 %, lo cual indicaría que el monitoreo de material particulado de estas fuentes fijas debería realizarse nuevamente, debido a que, el porcentaje de isocinetismo aceptado debe estar entre el 90-100%.

Tabla 8. *Resultados de la boquilla y factor isocinético.*

Recorrido	Medidor de gas seco	Velocidad	Orificio Deseado	Orificio actual	Chimenea	Sonda	Salida del Medidor	Filtro	Salida del Impactador	Bomba	Raíz cuadrada	Chimenea local	Medidor Acumulativo	Pocentaje acumulativo	Medidor de Prueba
Punto #	Lectura (V_m)	Cabeza (Δp)	ΔH (ΔH)	ΔH (ΔH)	Temp (t_s)	Temp (t_p)	Temp (t_{mo})	Temp	Temp	Aspiradora	ΔP ($\Delta p^{1/2}$)	Velocidad (v_s)	Volume $(V_m)_{std}$	Isocinético (I)	Volumen $(V_m)_{std}$
	m^3	m H_2O	mm H_2O	mm H_2O	°C	°C	°C	°C	°C	mm Hg	(mm $H_2O)^{1/2}$	m/s	scm	%	scm
A-1	552.253	15.40	25.737	26.000	166	119	30	112	12	177.8	3.92	16.83	0.040	77.2	0.803
A-2	552.300	19.80	33.090	34.000	178	120	30	116	13	177.8	4.45	19.35	0.086	78.2	0.863
A-3	552.354	20.60	34.427	34.000	181	120	30	123	13	177.8	4.54	19.80	0.132	78.1	0.883
A-4	552.408	21.40	35.764	36.000	182	120	31	122	13	203.2	4.63	20.20	0.178	77.7	0.892
A-5	552.462	21.60	36.098	36.000	183	119	31	120	13	203.2	4.65	20.32	0.226	77.9	0.905
A-6	552.518	22.40	37.435	38.000	183	119	31	120	14	203.2	4.73	20.69	0.271	77.1	0.905
A-7	552.571	24.80	41.446	42.000	183	120	31	120	14	228.6	4.98	21.77	0.327	78.4	0.934
A-8	552.636	26.60	44.454	44.000	183	120	32	120	15	228.6	5.16	22.55	0.377	77.9	0.942
A-9	552.695	29.20	48.800	48.000	184	120	32	118	14	228.6	5.40	23.65	0.431	77.7	0.957
A-10	552.758	29.80	49.802	50.000	183	120	31	120	14	228.6	5.46	23.87	0.487	77.9	0.974
A-11	552.824	30.00	50.137	50.000	184	120	31	120	14	228.6	5.48	23.97	0.546	78.4	0.992
A-12	552.893	30.00	50.137	50.000	184	120	32	120	15	228.6	5.48	23.97	0.601	78.3	1.002
A-13	552.958	32.00	53.479	54.000	184	120	32	121	15	228.6	5.66	24.76	0.660	78.4	1.015
A-14	553.027	32.00	53.479	54.000	184	120	32	119	16	228.6	5.66	24.76	0.712	77.8	1.017
A-15	553.088	34.00	56.822	56.000	185	120	32	120	15	241.3	5.83	25.55	0.769	77.6	1.025
A-16	553.155	34.00	56.822	56.000	184	120	32	121	16	241.3	5.83	25.52	0.823	77.2	1.029
A-17	553.219	34.00	56.822	56.000	185	120	32	121	16	241.3	5.83	25.55	0.886	77.6	1.042
A-18	553.293	34.00	56.822	56.000	185	121	33	120	15	241.3	5.83	25.55	0.938	77.0	1.042
A-19	553.354	34.00	56.822	56.000	184	121	33	120	15	241.3	5.83	25.52	0.996	77.0	1.049
A-20	553.423	32.00	53.479	54.000	184	120	33	120	15	241.3	5.66	24.76	1.062	77.7	1.062

Fuente: Resultados obtenidos del cálculo realizado a partir de los datos de la empresa HETWEN, 2022
Elaboración propia.

3.3. Evaluar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente

El límite Máximo Permisible de Concentración de Emisión al Aire para Turbinas a Gas para Fuentes Fijas, establece un valor de 50 mg/Nm^3 (N se refiere a miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones Normales: 760 mmHg de presión y temperatura de 0 ºC, en base seca y corregida al 15% de O_2), por lo que no se puede hacer una evaluación con los Datos de Emisión (Tabla 7) entregados por la empresa HETWEN, ya que sus valores no están en las Unidades establecidos por la normativa ambienta l, presentando una Masa Total de Partículas de 46.9 mg., que si se cumple con el índice de isocinetismo debería ser calculado su flujo volumétrico y ajustado a condiciones normales, tomando en consideración el porcentaje de 15% de O_2 respectivamente.

3.4. Discusión de Resultados

El Registro Oficial No 387 en su artículo 4.6.2. Requisitos y métodos de medición, establece al Método 5 como la metodología oficial para determinar el parámetro "Material Particulado" en fuentes fijas de emisión

Los resultados obtenidos en las Tablas de la 1 a la 4, son valores preliminares que ayudan a determinar el material particulado del método 5 y que son necesarios para cumplir con los protocolos del muestreo (Guerrero, 2011).

Para la determinación de velocidades, presiones, volúmenes, flujos, el Método 5, nos indica que el Porcentaje Isocenético (I) no son aceptables Si $90\% \leq I \leq 110\%$, caso contrario se debe rechazar los resultados y realizar nuevamente el muestreo (Guerrero, 2011). El valor Isocinético de la muestra de obtenida de la empresa Hetwen presenta un valor de I=77.7% (Tabla 21) lo que indica que los valores no son representativos.

Al desconocer el tipo de equipo que se utilizó para obtener los valores de material particulado en la unidad mg/Nm^3 no se puede realizar la comparación con los parámetros establecidos en la norma al igual que el valor obtenido de la Masa de las Partículas en el Filtro que presenta un valor de 40,7 mg (Tabla 8).

4. CONCLUSIONES

Para la obtención de muestras para evaluar material particulado utilizando el Método 5 de la EU EPA debe estar respaldado de una calibración para cumplir con las

especificaciones detalladas en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO, 2017), en donde se establecen los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración.

Los datos presentados en esta investigación corresponden a la utilización de cinco métodos promulgados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, descritos en el Acuerdo Ministerial 91 del Ministerio de Energía y Minas, publicado en el Registro Oficial 430 el 04 de enero de 2007 (MINEM, 2007), y en los parámetros del Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador, publicado en la Edición Especial del Registro Oficial 387, 4 de noviembre de 2015 (MAE, 2015), en los que se mencionan el método 1 referente la ubicación de puntos de muestreo, el método 2 referente a la velocidad de salida de gases, el método 3 correspondiente a la determinación dióxido de carbono y oxígeno, el método 4 referente a la humedad contenida en las emisio nes atmosféricas y el método 5 correspondiente a la determinación de material particulado. Cabe señalar que, el método 5 utiliza todos los datos obtenidos en los métodos 1, 2, 3 y 4 para la determinación de parámetros de monitoreo correspondientes.

Del monitoreo isocinético se puede manifestar que, uno de los cálculos que evidencia la correcta toma de la muestra de material particulado, corresponde a la determinación del Índice de isocinetismo (I), evidenciando en este caso (75-80 %), no se cumple con el requisito técnico que es de 90-100 %, por lo que, no cumple el monitoreo no cumple con la normativa ambiental nacional vigente aplicable, debiendo realizarse nuevamente el monitoreo hasta cumplir con el porcentaje de isocinetismo. Manifestando que, uno de los factores que influenciarían en este porcentaje sería que, a pesar que la Agencia de Protección Ambiental, en el Método 1 señala que la distancia mínima para la toma de muestras sea como mínimo 2 veces el diámetro corriente abajo y 0.5 veces el diámetro corriente abajo con ausencia de flujo ciclónico (Guerrero, 2011), se recomienda trabajar con una distancia 8 veces el diámetro corriente abajo después de una perturbación y 2 veces el diámetro corriente arriba ya que disminuirá la probabilidad de presencia de flujo ciclónico o turbulento en el ducto.

REFERENCIAS

Instituto para la Salud Geoambiental. (2013). Material particulado. En: https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos-EPA. (1991). Subcapítulo C: Programas de aire, Normas de rendimiento para nuevas fuentes estacionarias, Apéndice A de la parte 60, Métodos de Prueba.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos-EPA. (2021). Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). En: https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el- material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles.

Barraza, C. (2018). Manual para la Presentación de Referencias Bibliográficas de Documentos Impresos y Electrónicos. Obtenido de http://www.utemvirtual.cl/manual_referencias.pdf.

CONHINTEC. (2020). Determinación de puntos transversos para realizar muestreo y determinación de velocidad en fuentes estacionarias. US – EPA CFR, Título 40, Parte 60 Apéndice A-1. Método 1. Ingeniería Ambiental. En: https://www.conhintec.com/index.php/ingenieria-ambiental.

ECS Instrumentación Ambiental. (2017). Tren de muestreo de gases. En: http://ecspe.com/web/alquileres.php?i=Alquiler_trendemuestreo

Guerrero, M., C. Rodríguez, Gutiérrez, Margarita. (2011). Método 1 - Determinación del punto y velocidad de muestreo para fuentes estacionarias. Instituto de Hidrologí a, Meteorología y Estudios Ambientales Subdirección de Estudios Ambientales.

Guerrero, M., C. Rodríguez, Gutiérrez, Margarita. (2011). Método 2 - Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gases en chimenea (tubo Pitot tipo S). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Subdirección de Estudios Ambienta les.

Guerrero, M., C. Rodríguez, Gutiérrez, Margarita. (2011). Método 3 - Análisis de gases para la determinación del peso molecular. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Subdirección de Estudios Ambientales.

Guerrero, M., C. Rodríguez, Gutiérrez, Margarita. (2011). Método 4 - Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Subdirección de Estudios Ambientales.

Guerrero, M., C. Rodríguez, Gutiérrez, Margarita. (2011). Método 5 - Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Subdirección de Estudios Ambientales.

HETWEN. CIA LTDA. (2022). Resultados del análisis isocinético del mes de junio de 2022.

ISO/IEC 17025 (2017). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

López, P. & A. Ferro (2006). Derecho Ambiental. IURE editores, SA. En colaboración con la Universidad Iberoamericana y la Universidad Nacional. Autónoma de México. ISBN 970-9849-36-0.

LORAX, Consultores S.A. (2005). "Operación de Generadores Eléctricos de Diesel durante horas "Pico" en tres edificios Telmex ubicados en el Distrito Federal". Manifestaciones de Impacto Ambiental. Teléfonos de México, S.A. de C.V.

Márquez, A. (2021). Problemas ambientales en el Ecuador. Ecología Verde. En: https://www.ecologiaverde.com/problemas-ambientales-en-el-ecuador-3145.html.

Ministerio de Energía y Minas. (2007). Acuerdo Ministerial 091, RO 430, Lmites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas: límites máximos permitidos para emisiones de turbinas.

Ministerio del Ambiente MAE. (2015). Acuerdo Ministerial 09-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI del Texto Unificado de Legislació n Secundaria del Ministerio del Ambiente.

MedlinePlus. (2022). Contaminación del aire. Biblioteca Nacional de Medicina (EE. UU.). En:https://medlineplus.gov/spanish/airpollution.html#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20es,pueden%20estar%20suspendidas%20como%20part%C3%ADculas.

Woodard, Kenneth. (1998). Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias. Library Services Office (MD-35), U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Policy and Strategies Group (MD-15) Air Quality Strategies and Standards Division U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711

ANEXOS

Marco Teórico

Contaminación del aire

También conocida como contaminación atmosférica, hace referencia a la concentración de partículas sólidas o productos secundarios gaseosos, dispersas en la atmosfera, de origen natural o antropogénico y que pueden ser perjudiciales para los organismos (MedlineP lus, 2021)

Fuentes fijas

Corresponde a una instalación o conjunto de instalaciones, que realizan operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, que emite o puede emitir contaminantes al aire debido a los procesos de combustión que realizan desde un lugar fijo e inamovib le (MAE, 2015)

Material particulado

Se refiere al constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepció n del agua no combinada, emitido por la fuente fija hacia la atmósfera. Turbinas de generación eléctrica (MAE, 2015).

Turbinas de generación eléctrica

Se refiere a un motor de combustión interna (Figura 1), que está conformado por tres componentes: compresor, cámara de combustión y turbina de potencia. Esta última se acciona por los gases de combustión. Pudiendo utilizar combustibles gaseosos o líquidos (MAE, 2015).



Figura 1. Turbinas de generación eléctrica

Muestreo Isocinético

Es el muestreo mediante el cual se busca recolectar muestras de emisiones en una chimenea a una misma velocidad, condición y dirección del gas emitido en durante su operación colectados en una sonda de muestreo (MAE, 2015)

Configuración del Tren Isocinético

Características del Tren isocinético (ECS Instrumentación Ambiental, 2017):

- Cuerpo : Maletín plástico de alto impacto
- Protección: protección al medio ambiente IP67
- Fuente: 220v CA Opcional 12V CC
- Manguera: siliconada
- Con 7 salidas independientes
- Reguladores de flujo de alta precisión
- Fácil transporte e instalación

Configuración del tren:

- Test.- Sirve para la calibración previa del flujo de absorción, Es necesario insertar la manguera de conexión entre el dreschel y la entrada al calibrador
- Configuración de hora.- Se fija la hora actual, se configura una vez ya que el equipo cuenta con un reloj y que trabaja inclusive sin conexión a una fuente de energía

- Configuración de parámetro.- Se configura el tiempo cuando se inicia el muestreo, su tiempo de duración o la desconexión, luego se selecciona el parámetro deseado

Método 1. Determinación del punto y velocidad de muestreo para fuentes estacionarias.

El propósito de este método es suministrar una guía para la selección de los puertos de muestreo y los puntos transversales en los cuales se debe realizar el muestreo de los contaminantes (Guerrero, 2011).

Método 2. Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gases en chimenea (tubo pitot tipo S)

Este método es aplicable para la medición de la velocidad promedio de una corriente gaseosa y para determinar el flujo gaseoso (Guerrero, 2011).

Método 3. Análisis de gases para la determinación del peso molecular

Este método es aplicable para la determinac ión de concentraciones de CO2 y O2 y el peso molecular base seca de una muestra de una corriente de gas proveniente de la combustión de combustibles fósiles u otros procesos (Guerrero, 2011).

Método 4. Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea

Este método es aplicable para la determinación del contenido de humedad del gas en chimenea (Guerrero, 2011).

Método 5. Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias

Este método es aplicable para la determinación de las emisiones de material particulado en fuentes fijas (Guerrero, 2011).

MEMORIA DE CÁLCULO

Método 1. Determinación del punto y velocidad de muestreo para fuentes estacionarias

De= Diámetro Equivalente

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

Método 2. Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gases en chimenea

Vs= velocidad del gas de chimenea, m/s o ft/s

$$V_S = K_p \, x \, C_p \, x \, (\sqrt{\Delta p})_{avg} \, x \, \sqrt{\frac{\overline{T_{s(avg)}}}{P_s M_s}}$$

Qa= Datos de Caudal Volumétrico, acmm o acfm

$$Q_a = 60 \, x \, v_s x \, A_s$$

Qd= flujo volumétrico seco, scmm o scfm

$$Q_a = 60 \, x \, (1 - B_{ws}) \, x \, v_s \, x \, A_s$$

Qd= caudal volumétrico, dscmm o dscfm

$$Q_a = 60 \, x \, (1 - B_{ws}) \, x \, v_s \, x \, A_s \, x \frac{T_{std}}{T_S} \, x \, \frac{P_S}{P_{std}}$$

Método 3. Análisis de gases para la determinación del peso molecular

Md= peso molecular seco, g/g-mole or lb/lb-mole

$$M_d = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28(\%N_2 + \%CO_2)$$

Md= peso molecular húmedo, g/g-mole or lb/lb-mole

$$M_s = M_d(1 - B_{ws}) + 18.0(B_{ws})$$

%EA = Exceso de aire, %

$$\%EA = \frac{(\%O_2) - (0.5\%CO)}{0.264(\%N_2) - (\%O_2 - 0.5\%CO)} \, x \, 100$$

Método 4. Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea

Vm(std) = volumen de gas muestreado en condiciones estándar, dscm or dscf

$$V_{m(std)} = V_m \; Y \left(\frac{T_{std}}{P_{std}}\right) \; \frac{P_{bar} + \left(\frac{\Delta H}{13.6}\right)}{T_m}$$

Vwc(std) = volumen de vapor de agua condensado en condiciones estándar, scm or scf

$$V_{m(std)} = K_2(V_f - V_i)$$

Vwsg(std) = volumen de vapor de agua recogido en gel de sílice

$$V_{wsg(std)} = K_3(W_f - W_i)$$

Bws = fracción molar de vapor de agua

$$B_{ws} = \frac{V_{wc(std)} + V_{wsg(std)}}{V_{wc(std)} + V_{wsg(std)} + V_{m(std)}}$$

Método 5. Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias

Dn(est)= diámetro estimado de la boquilla

$$D_{n(est)} = \sqrt{\frac{K_1 Q_m P_m}{T_m C_p (1 - B_{ws})}} \sqrt{\frac{T_s M_s}{P_s \Delta p_{avg}}}$$

P_s = presión de gas de chimenea (mm.Hg) o (in.Hg)

$$P_s = P_{bar} + \frac{P_g}{13.6}$$

Ps = presión de gas de chimenea (mm.Hg) o (in.Hg)

$$V = \sqrt{\frac{T_s M_s}{P_s \Delta p_{avg}}}$$

ΔH= diferencial de presión de orifico de velocidad isocinética

$$\Delta H = K\ x\ \Delta_p$$

$$K = \frac{\Delta H}{\Delta_p} = K\ D_n^4 \Delta H\ @\ C_p^2 (1 - B_{ws})^2 \frac{M_d T_m P_s}{M_s T_s P_m}$$

$P_{m(std)}$ = frecuencia de muestreo real (dscmm or dscfm)

$$Q_{m(std)} = \frac{100(1 - B_{ws}) P_s v_{s(fpm)or\,(mpm)} D_n^2}{1039 T_s}$$

%I_i = comprobar la frecuencia de muestreo isocinética intermedia, %

$$\%EA = \frac{100 T_s V_{m(stand)} P_{std}}{60 T_{std} v_s \theta A_n P_s (1 - B_{ws})} = \frac{K_4 T_s V_{m(std)}}{P_s v_s A_n \theta (1 - B_{ws})}$$

A_n = área de boquilla

$$\frac{\pi}{4} D_n^2$$

$$\%I_f = \frac{100T_{s(avg)}\left[K_3 V_{tc} + \left(\frac{V_{w(tat)}}{T_{m(avg)}}\right)\left(P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6}\right)\right]}{60\theta_{v_{s(avg)}} P_s A_n}$$

Análisis de Cálculo para los métodos establecidos por Agencia de Protección Ambiental para Fuentes Fijas de contaminación (EPA, 2021)

Fórmulas utilizadas para el Método 2:

$As = {}^{DW}/_{Ku}$ para chimeneas rectangulares

$A_s = (\pi({}^{D}/_{2})^2/Ku$ para chimeneas circulares

$P_s = P_{bar} + P_{static}/13.6$

$\%N_2 = 100 - \%CO_2 - \%O_2 - \%CO$

$M_d = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28(\%N_2 + \%CO)$

$M_s = M_d(1 - B_{ws}) + 18B_{ws}$

$(\Delta p)^{\overline{1}}_{2}avg = {}^{1}/_{n}\sum(\Delta^{1/2})$

$T_{s(avg)} = {}^{1}/_{n}\sum Ts + Tu$

where Tu = 273 oK for metric units

where Kp = 85.49 for English units

$V_s = K_p C_p(\Delta p)^{1/2}avg(T_{s(avg)}/P_s M_s))^{1/2}$

where Kp = 34.97 for metric units

where K_p = 85.49 for English units

$Q_{sd} = 3600(1 - B_{ws})V_s A_s(T_{std}/T_{s(avg)})(P_s/P_{std})$

where Tstd = 293 oK, Pstd = 760 mm Hg, for metric units

where Tstd = 528 oR, Pstd = 29.92 in Hg, for English units

Fórmulas utilizadas para el Método 3:

$\%CO_2 = V_{CO2}$

$\%O_2 = V_{O2} - V_{CO2}$

$\%CO = V_{CO} - V_{O2}$

$\%N_2 = 100 - \%CO_2 - \%O_2 - \%CO$

$$M_d = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28\ (\%N_2 + \%CO)$$

$$\Delta M_d = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28\ (\%N_2 + \%CO)$$

$$\%EA = (\%O_2 - 0.5\%CO)/(0.264\%N_2 - (\%O_2 - 0.5\%CO))$$