



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EPA PARA MEJORAR LA  
CALIDAD EN MEDICIONES DE CONCENTRACIÓN DE  
PARTÍCULAS EMITIDAS POR CHIMENEAS DE CENTRALES  
TERMOELÉCTRICAS SUPERVISADAS POR OEFA, ILO 2015.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**

ALEXÁNDER MICHEL JOSÉ CAYO MACHA

**ASESOR:**

Mg. Ronald Fernando Davila Laguna

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD

Lima – Perú

2016

## PÁGINA DEL JURADO

---

Mg. Guido Rene Suca Apaza  
Presidente

---

Mg. Marco Antonio Meza Velásquez  
Secretario.

---

Mg. Ronal Dávila Laguna  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A mi hermana Natalie Cayo, quien a mitad de carrera partió al cielo y desde ahí estoy seguro que me ha dado las fuerzas suficientes para culminar la presente tesis.

A mi esposa e hijo Paola y Alejandro, que son el motivo principal de mis deseos de superación y ganas de sobresalir como profesional exitoso.

A mis padres Rosendo e ILiana que vienen y seguirán apoyándome incondicionalmente, a lograr objetivos que me propongo.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por la vida y las bendiciones que nos brinda no solo a mí sino a toda mi familia.

Al programa SUBE, por brindarme la oportunidad de formar parte del ámbito profesional basado en mi experiencia.

A los docentes, quienes con su paciencia y dedicación pude captar los mensaje que fueron transmitiendo en cada curso.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo Alexánder Michel José Cayo Macha con DNI N° 42520161 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela de Ingeniería Industrial, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Alexánder Michel José Cayo Macha

DNI: 42520161

SJL 12 de octubre del 2016

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento de las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, presento ante ustedes la tesis titulada: “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EPA PARA MEJORAR LA CALIDAD EN MEDICIONES DE CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS EMITIDAS POR CHIMENEAS DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS SUPERVISADAS POR OEFA, ILO 2015. La misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial.

La presente investigación ha sido desarrollada en base a los conocimientos y experiencias adquiridas a lo largo de los años como empleado en el sector de evaluaciones ambientales, principalmente en emisiones gaseosas de centrales termoeléctricas.

El presente estudio compendia siete (07) capítulos: considerando como primero: La introducción, el segundo: Marco metodológico, tercero: Los resultados, cuarto: Las discusiones, quinto: Las conclusiones, sexto: Las recomendaciones, séptimo: Las referencias, y por último los anexos.

La investigación tuvo como principal finalidad de brindar a conocer los beneficios de la aplicación de la metodología EPA para la mejorar la calidad en las mediciones de concentración de partículas emitidas por plantas termoeléctricas.

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE DE TABLA	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Trabajos Previos	10
1.2.1 Tesis Internacionales	10
1.2.2 Tesis Nacionales	15
1.3. Teorías relacionadas al tema	16
1.3.1 Metodología EPA para el análisis de concentración de partículas	16
1.3.1.1 Características de la metodología EPA	18
1.3.1.3 Método o Técnica 1	19
1.3.1.3 Método o técnica 2	21
1.3.1.4 Método o técnica 3	22
1.3.1.5 Método o técnica 4	23
1.3.1.6 Método o técnica 5	26
1.3.1.7 Plantas termoeléctricas a carbón	34
1.3.2.1 Características de la mejora de la calidad de resultados	36
1.3.2.2 Beneficios de la mejora de la calidad	38
1.3.2.3 Calidad y sus dimensiones	39
1.4 Formulación del problema	43
1.4.1 Problema general	43
1.4.2 Problemas específicos.	44
1.5. Justificación del estudio	44
1.5.1 Práctica	44
1.5.1 Ambiental	45
1.5.2 Económica	45

1.5.3	Social	45
1.5.4	Teórica	46
1.5.5	Metodológica	46
1.6	Hipótesis	46
1.6.1	Hipótesis general	46
1.6.2	Hipótesis específica	46
1.7	Objetivo	47
1.7.1.	Objetivo general	47
1.7.2.	Objetivos específicos	47
<b>CAPÍTULO II.</b>		<b>49</b>
2.1	Diseño de investigación	50
2.2	Variables, operacionalización	51
2.2.1	Variable independiente	52
2.2.2	Variable dependiente	52
2.3	Población y Muestra	55
2.3.1	Población	55
2.3.2	Muestra	55
2.3.3	Unidad de análisis	56
2.4.	Técnicaseinstrumentosderecoleccióndedatos, validez y confiabilidad	56
2.4.1	Técnica	56
2.4.2	Instrumento	56
2.4.3	Validez	57
2.4.3.1	Validación realizado por el Mg. Prado Macalupú Fidel	57
2.4.3.2	Validación realizado por el Mg. Suca Apaza Guido Rene	57
2.4.3.3	Validación realizado por el Mg. Marco Antonio Meza Velázquez	58
2.4.3.4	Validación realizado por el Mg. Cama Sotelo Manuel	58
2.4.3.5	Validación realizado por el Ing. López Rosario	59
2.4.4	Confiabilidad	59
2.5	Métodos de análisis de datos	60
2.6	Aspectos éticos	61
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>62</b>
<b>RESULTADOS</b>		<b>62</b>
3.1	Proceso de la aplicación de la metodología EPA para medir las partículas en chimeneas	64
3.2	Resultados estadísticos	73



3.2.2	Análisis estadístico Inferencial de la variable dependiente	81
3.2.3	Análisis estadístico para la comprobación de la hipótesis general	89
	CAPÍTULO IV	91
	DISCUSIÓN	91
	CAPÍTULO V	95
	CONCLUSIONES	95
	CAPÍTULO VI	97
	RECOMENDACIONES	97
	CAPÍTULO VII	99
	REFERENCIAS	99
	ANEXOS	100

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla N° 01	Contaminantes del carbón.	34
Tabla N° 02	Características de la mejora de la calidad.	36
Tabla N° 03	Programación de supervisiones año 2014.	40
Tabla N° 04	Esquema de tratamiento metodológico.	49
Tabla N° 05	Operacionalización de variable independiente.	52
Tabla N° 06	Operacionalización de variable independiente.	53
Tabla N° 07	Resumen de los datos de la variable independiente.	73
Tabla N° 08	Resumen los datos de la variable dependiente.	74
Tabla N° 09	Resultados del estadístico descriptivo de la dimensión mejora.	75
Tabla N° 10	Resultados del estadístico descriptivo de la dimensión planeación.	77
Tabla N° 11	Resultados del estadístico descriptivo de la dimensión control.	79
Tabla N° 12	Resultados de la prueba de normalidad de la mejora.	81
Tabla N° 13	Resultados de la prueba de T student de la dimensión mejora.	82
Tabla N° 14	Resultados de la prueba de normalidad de la planeación.	84
Tabla N° 15	Resultados de la prueba de T student de la dimensión planeación.	84
Tabla N° 16	Resultados de la prueba de normalidad de la dimensión control.	87
Tabla N° 17	Resultados de la prueba de T student de la dimensión control.	87
Tabla N° 18	Prueba T de student para la comprobación de la hipótesis general.	89

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01:	Diagrama de Ishikawa causa y efecto.	09
Gráfico N° 02:	Validación de instrumentos por Mg. Prado Macalupú Fidel.	56
Gráfico N° 03:	Validación de instrumentos por Mg. SucaApaza Guido Rene.	57
Gráfico N° 04:	Validación realizado por el Mg. Marco Antonio Meza Velázquez.	57
Gráfico N° 05:	Validación realizado por el Mg. Cama Sotelo Manuel.	58
Gráfico N° 06:	Validación realizado por la Ing. López Rosario.	58
Gráfico N° 07:	Diagrama Gantt del proceso de aplicación.	62
Gráfico N° 08:	Diagrama del proceso de la 1ra Etapa.	64
Gráfico N° 09:	Diagrama del proceso de la 2da etapa.	65
Gráfico N° 10:	Diagrama del proceso de la 3ra etapa.	66
Gráfico N° 11:	Diagrama del proceso de la 4ta etapa.	67
Gráfico N° 12:	Diagrama de flujo antes de la aplicación de la metodología.	68
Gráfico N° 13:	Diagrama de análisis antes del proceso de la aplicación.	69
Gráfico N° 14:	Diagrama de flujo después de la aplicación de la metodología.	70
Gráfico N° 15:	Diagrama de análisis después del proceso de la aplicación.	71
Gráfico N° 16:	Histograma del antes y después de los resultados de mejora.	76
Gráfico N° 17:	Histograma antes y después de los resultados de planeación.	78
Gráfico N° 18:	Histograma antes y después de los resultados de control.	79
Gráfico N° 19:	Diagrama de análisis después del proceso de la aplicación.	71
Gráfico N° 20:	Dispersión de antes de mejora.	81
Gráfico N° 21:	Dispersión después de la mejora.	81
Gráfico N° 22:	Dispersión antes y después de la planeación.	83
Gráfico N° 23:	Dispersión antes y después del control.	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01:	Planta termoeléctrica en Ilo.	03
Figura N° 02:	Localización del Nodo energético del sur.	05
Figura N° 03:	Producción de energía eléctrica a nivel nacional.	07
Figura N° 04:	Chimeneas con puerto de muestreo aceptable.	19
Figura N° 05:	Interacción de partículas y fluido.	20
Figura N° 06:	Tabla para determinar la cantidad de puntos.	20
Figura N° 07:	Ecuación para determinar la velocidad de los gases.	21
Figura N° 08:	Ecuación para determinar el peso molecular seco de gases.	22
Figura N° 09:	Analizador de gases electroquímico.	23
Figura N° 10:	Tren de muestreo método de referencia.	24
Figura N° 11:	Ecuación de contenido de humedad de gases.	24
Figura N° 12:	Muestreo isocinético.	26
Figura N° 13:	Desviación de muestreo.	27
Figura N° 14:	Tren de muestreo de - método 5 isocinético.	27
Figura N° 15:	Boquilla de sonda.	28
Figura N° 16:	Detalle de componentes de sonda de muestreo.	28
Figura N° 17:	Tubos pitot usados en EPA 5.	29
Figura N° 18:	Manómetro diferencial.	29
Figura N° 19:	Componentes de vidrio.	30
Figura N° 20:	Sistema de medición.	30
Figura N° 21:	Instalación de tren de muestreo.	32
Figura N° 22:	Fórmula cálculo de isocinético.	32
Figura N° 23:	Generación de electricidad en una planta termoeléctrica.	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

01	Matriz de consistencia.	105
02	Cronograma de ejecución.	106
03	Financiamiento.	107
04	Plantilla de recolección de datos, ubicación de puntos.	108
05	Fotografías de emisiones de material particulado y verificación de equipo muestreador isocinético.	111
06	Diagrama de proceso.	113
07	Plano de los ambientes de verificación y calibración.	114
08	Instrumentos validados.	115
09	Instrumentos de medición.	125

## RESUMEN

La aplicación de la metodología EPA para mejorar la calidad en mediciones de concentración de partículas emitidas por las chimeneas de centrales termoeléctricas supervisadas por el OEFA en la ciudad de Ilo 2015, es el título del presente estudio, por consiguiente el objetivo es el determinar como la aplicación de la metodología EPA mejora la calidad de las información generada por los resultados en las mediciones de concentración de partículas emitidas por chimeneas de centrales termoeléctricas supervisadas por el OEFA en Ilo 2015.

La aplicación EPA para medir la emisión de partículas emitidas por chimeneas cuenta con 5 técnicas que son: identificar la cantidad de puntos de muestreo, medir la velocidad de los gases, medir el peso molecular de los gases, medir la humedad de los gases, y finalmente determinar la concentración de partículas se según la metodología descrito en USEPA CFR 40, parte 60 Apéndice A1 - A3. (1997). De igual importancia para la obtención de resultados de las mediciones de partículas con gran calidad, se debe de considerar 03 procesos de gran relevancia que son: la mejora, la planeación y el control. Descrito según los autores GRYMA F., CHUA R. y DEFEO J. (2007).

La presente investigación tiene el diseño de cuasiexperimental de tipo cuantitativo cuya población fue determinado como 7 meses y sus respectivos informes técnicos mensuales de monitoreos ambientales, considerando también la misma cantidad para el tamaño de la muestra, identificándose como método de muestreo probabilístico, la técnica es el análisis de datos como el análisis de observación y los instrumentos de medición utilizados fueron las fichas de recolección de datos, la estadística es descriptiva porque analizó la media, mediana, desviación estándar y varianza también inferencial por se realizó pruebas como la de normalidad, la prueba de T- student y la comparación de medias. De los resultados obtenidos se elaboró la discusión, conclusión y recomendación.

Para culminar el presente resumen, la aplicación de la metodología EPA mejoró la calidad delos resultados en la información de los reportes de medición de partículas emitidas por chimeneas supervisadas por OEFA Ilo 2015, como resultado de la calidad de la información en el mejora de un 86 % a 95 %, calidad de planeación de 87% a 97 % y la calidad de control de 86% a 96 %.

Palabras claves: isocinético, calidad de información, emisiones atmosféricas, material particulado, chimeneas.

## ABSTRACT

The application of the EPA methodology to improve quality in concentration measurements of particles emitted from the smokestacks of power plants supervised by the OEFA in the city of Ilo 2015, is the title of this study, therefore the objective is to determine how the EPA application of the methodology improves the quality of the information generated by the measurement results of concentration of particles emitted by smokestacks of power plants supervised by the Ilo OEFA in 2015.

EPA application for measuring the emission of particles emitted by smokestacks has 5 techniques are to identify the number of sampling points, measuring the velocity of the gases, measuring the molecular weight of the gases, measuring humidity of gases, and finally determine the concentration of particles according to the methodology described in USEPA 40 CFR part 60 Appendix A1 - A3. (1997). Equally important to obtain results of measurements of particles with high quality, it should be of great relevance considerer 03 processes that are improving, planning and control. The authors described GRYMA F., and DEFEO CHUA R. J. (2007).

This research has the design of quasi quantitative whose population was determined as 7 months and their respective monthly technical environmental monitoring reports, also considering the same amount for the size of the sample, identified as probability sampling method, the technique is data analysis and the analysis of observation and measurement instruments used were the chips data collection, statistics is descriptive because it analyzed the mean, median, standard deviation and variance also inferential by tests was performed as normal, the T student test and comparison of means. From the results discussion, conclusion and recommendation was made.

To complete this summary, the implementation of the EPA methodology improved the quality of results in information reports measuring particles emitted by smokestacks supervised by OEFA Ilo 2015, as a result of the quality of the information in the improvement of a 86% to 95%, quality planning 87% to 97% and quality control 86% to 96%.

Keywords: isocinético, information quality, air emissions, particulate matter, fireplaces.