



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

Evaluación de emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas, a través de la aplicación de índices de calidad para la determinación de límites máximos permisibles

Realizado por:

Evelyn Mishel Cazorla Martínez

Director de proyecto:

Ing. Katty Coral Carrillo MSc. MSSO

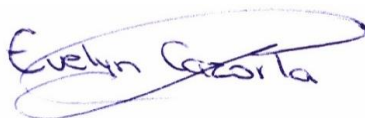
Como requisito para la obtención del título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 18 de febrero de 2020

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, EVELYN MISHEL CAZORLA MARTÍNEZ, con cédula de identidad # 0603015744, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, a que las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Evelyn Mishel Cazorla Martínez

C.I: 0603015744

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

Evaluación de emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas, a través de la aplicación de índices de calidad para la determinación de límites máximos permisibles

Realizado por:

EVELYN MISHEL CAZORLA MARTÍNEZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty Verónica Coral Carrillo
Director

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

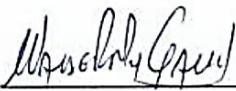
WALBERTO GALLEGOS

ALBERTO AGUIRRE

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



Walberto Gallegos



Alberto Aguirre

Quito, 18 de febrero de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo, lo dedico en primer lugar a Dios por darme vida, salud y fortaleza, a mis papás Alfonso Cazorla y Patricia Martínez por ser mi guía, a mis hermanos Roberto, Alfonso, Cristian y Marlon por ser los 4 fantásticos en mi día a día, a mis sobrinos Katheryn, Romyna, Marlito, Emily y Leito, por ser el motivo de mis alegrías, a mi abuelita Celinda por sus consejos, a mis tíos por su generosidad y a toda mi familia por enseñarme el verdadero significado de la palabra más hermosa “familia”.

AGRADECIMIENTO

Infinitamente agradecida con Dios y la vida, por ser tan generosos conmigo. Dios le pague a mis papás, por ser siempre los pilares fundamentales en mi vida, por su infinito amor y apoyo incondicional cuando en más de una ocasión desistí en el cumplimiento de esta meta, a mis hermanos por ser el soporte en cada paso que doy, a mi abuelita por ser ejemplo de superación, a mis tíos por los sabios consejos, a mis sobrinos quienes siempre son el mejor regalo, a mis amigos por las risas, las malas y buenas noches y su compañía. Gracias a la Universidad SEK y sus docentes quienes han transmitido su conocimiento, confianza y entrega dentro y fuera de las aulas.

Resumen

A nivel mundial la demanda de energía ha incrementado paulatinamente, debido a factores como el crecimiento poblacional y desarrollo económico, en Ecuador el 39,16% de energía proviene de las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento, tales como el fuel oil que es una mezcla inflamable de combustibles líquidos, el cual puede ser de dos tipos, liviano y pesado como el fuel oil #6. Su combustión incompleta puede generar vapores y humo que contienen sustancias como el monóxido de carbono, que es un gas incoloro, considerado como uno de los mayores contaminantes del aire, ya que tiene incidencia sobre la capacidad oxidante de la atmósfera, contribuyendo a la generación de mayores concentraciones de metano y óxidos nitrosos. En este contexto y con base en la revisión de normativa ambiental nacional, se consideró importante realizar la evaluación de emisiones no reguladas, a través de la aplicación de índices de calidad para la determinación de límites máximos permisibles para el monóxido de carbono. Para lo cual, el presente trabajo de investigación se desarrolló con base en los análisis de monitoreo de emisiones atmosféricas de tres centrales termoeléctricas de Ecuador, correspondientes al año 2018, ubicadas en las provincias de Pichincha, Manabí y Esmeraldas, siendo estas las principales del país, empleando como referencia los límites máximos permisibles establecidos en México, Colombia, España y República Dominicana, dando como resultado que el valor límite a normarse en Ecuador debe ser el establecido en la norma mexicana, que corresponde a un valor de 516 mg/m^3 de CO (516 mg de CO por metro cúbico de aire), puesto que el índice de calidad analizado en este estudio con respecto a las tres centrales es un valor muy cercano a 1 (uno), lo que permite decir que es el valor más adecuado.

Key words: Termoeléctrica, índice de contaminación, fuel oil, monóxido de carbono, emisión, límite máximo permisible

1. Introducción

1.1 Generación de energía eléctrica

La electricidad es una forma importante de energía debido a su flexibilidad y fácil distribución. A nivel mundial, la demanda de energía ha crecido debido a que el desarrollo económico depende de su capacidad de generación y distribución para satisfacer las necesidades de: actividades industriales, el crecimiento poblacional y el consecuente incremento de consumidores de aparatos electrónicos (Harper, E., 2011).

En el país el 60,48% de la energía es renovable, la cual es obtenida de diferentes maneras tales como: energía hidráulica, eólica, fotovoltaica, biomasa y biogás; el 39,16% restante es energía no renovable, proveniente de las centrales termoeléctricas (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2019).

Las centrales termoeléctricas son instalaciones industriales que para la generación de energía usan combustibles fósiles, pudiendo ser sólidos (carbón), líquidos (fuel oil u otros derivados del petróleo) y gases. Estas utilizan dichos combustibles para calentar el agua de una caldera y producir vapor, ese vapor hace girar las paletas de las turbinas, que transmiten ese movimiento giratorio a un generador de electricidad (Asociación de Generadores de Energía Eléctrica de la República Argentina, 2009).

Según la Secretaría de Ambiente (2005), en la ciudad de Quito uno de los puntos de emisión anual mayor a 1.000 toneladas por año de monóxido de carbono, corresponde a las emisiones originadas por la central térmica Guangopolo de Termopichincha y Gualberto Hernández de la Empresa Eléctrica Quito – EEQ, localizadas al sur oriente de la ciudad de Quito, en la provincia de Pichincha.

1.2 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se genera por la presencia de sustancias, partículas o incluso formas de energía que pueden causar daño, molestia o riesgos para los seres vivos y los materiales (Calderón, S. et al. 2015). Los contaminantes del aire pueden agruparse en dos categorías: los contaminantes primarios, que se emiten directamente a la atmósfera; y los contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de precursores primarios debido a reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas (Mogrovejo, M. 2015).

Asimismo, las fuentes de emisión de contaminantes pueden ser naturales, tales como incendios forestales, erupciones volcánicas y radiaciones solares, pero el mayor índice de emisiones es generado por las actividades antrópicas (Cabrera, S. Giacobone, G., 2010).

Para el desarrollo de actividades antrópicas se utilizan combustibles fósiles, dando lugar a la generación de emisiones que deterioran la calidad del aire e impactan la salud de la población potencialmente expuesta, con el funcionamiento de centrales termoeléctricas, existe liberación de diferentes tipos de contaminantes hacia la atmósfera, tales como: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas y monóxido de carbono (Blanco y Peña, 2006).

1.3 Fuel oil

El fuel oil es una mezcla inflamable de combustibles líquidos de origen mineral de alta viscosidad, cuenta con un API de mínimo 16,00 y comúnmente de 21,30 a 60°F (American Refining Group Inc., 2015). Dependiendo del origen y el proceso mediante el cual es obtenido, puede ser liviano o pesado, por ejemplo el fuel oil #6 es considerado como pesado.

Este último puede contener una serie de sustancias parcialmente indeseadas que se determinan a través de análisis químicos; estas sustancias consisten principalmente en agua, sedimentos, nitrógeno y azufre, así como algunos metales, lo cual produce pérdida de energía en la combustión ya que se reduce el poder calorífico (SAACKE GmbH, 2020).

Existen diversos efectos negativos que pueden generarse por este tipo de combustible, por ejemplo la salud humana puede verse afectada debido a la manipulación inadecuada, ya que cuando existe una exposición prolongada o por vía dérmica puede causar daños en la médula ósea, hígado, bazo, entre otros. Asimismo, pueden provocarse impactos negativos en el ambiente, en caso de que este tipo de combustible se encuentre expuesto a altas temperaturas, ya que puede dar lugar a la formación de vapores y humo que contienen sustancias como dióxido de carbono y monóxido de carbono (American Refining Group Inc., 2015).

1.4 Monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma por la combustión incompleta de combustibles fósiles, en presencia deficitaria de oxígeno. Este es considerado como uno de los mayores contaminantes del aire, así como uno de los mayores problemas ambientales (Rev. Salud Pública, 2006), es importante mencionar que el monóxido de carbono, no es verdaderamente un gas de efecto invernadero, sin embargo, tiene incidencia sobre la capacidad oxidante de la atmósfera y, consecuentemente, contribuye a mayores concentraciones de metano y óxidos nitrosos (Ciesla, W., 1995).

Dependiendo de la intensidad de la exposición, los efectos de la intoxicación por CO pueden variar desde la cefalea hasta la muerte (Gavidia, T., Peter D., Pronczuk, J.,

2009), tales consecuencias pueden ser cambios estructurales en el corazón y el cerebro de los animales, cambios en el umbral de la luminosidad relativa y la agudeza visual e impedimentos en el funcionamiento de pruebas psicomotoras (Campos, I., 2000).

1.5 Índice de calidad

El índice de calidad es un número adimensional obtenido de la relación que existe entre la concentración de los contaminantes contenidos en la muestra y la concentración máxima admitida por la normativa ambiental aplicable (Coral, K., 2019); es un indicador diseñado para conocer el estado de la calidad del aire, que muestra qué tan contaminado se encuentra este y cuáles podrían ser los efectos en la salud dependiendo de los valores obtenidos (Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

Las características de los índices de calidad pueden resumirse de la siguiente manera (Carrillo, M., Urgilés, P., 2016):

- Tienen la capacidad de simplificar datos complejos.
- Pueden incluirse en modelos con el objetivo de tomar decisiones.
- Son comprensibles para la población.
- Representan una parte o un aspecto específico del problema.
- Deben ser interpretados con precaución, en forma crítica y a la vez, deben ser actualizados periódicamente.
- Se pueden plantear límites para generación de contaminantes generados por actividades antrópicas, sea a los componentes agua, aire o suelo.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2001), existen tres tipos de indicadores:

- a. Indicadores de presión, los cuales están estrechamente asociados a métodos de producción y de consumo; asimismo, reflejan intensidades de emisión o de utilización de recursos, tendencias y evoluciones, dentro de un determinado período.
- b. Indicadores de estado, hacen referencia a los indicadores de calidad y cantidad de recursos naturales y del ambiente.
- c. Indicadores de respuesta, en esta categoría entran los recursos económicos gastados en la protección del ambiente; tales como impuestos y subvenciones relacionados con este, los sectores de mercado representativos de bienes y servicios del ambiente; las tasas de reducción de poluciones y reciclaje de residuos.

1.6 Límites máximos permisibles

Los límites máximos permisibles, pueden definirse como la concentración de sustancias contaminantes contenidas en las emisiones procedentes de instalaciones, que no deben superarse durante un periodo determinado, cuyo objetivo es evitar, prevenir o reducir los impactos negativos para la salud humana y para el ambiente (Y. Calventus, et al. 2006).

En Ecuador existe normativa ambiental, como el Acuerdo Ministerial 155, del 14 de marzo de 2007, en el cual se expide las normas técnicas ambientales para la prevención y control de la contaminación ambiental para los sectores de infraestructura: eléctrico, telecomunicaciones y transporte (puertos y aeropuertos) (Ministerio del Ambiente, 2007). En el caso del sector eléctrico se establecen los límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna para fuentes en operación a partir de enero del 2003.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna norma para fuentes en operación a partir de enero del 2003

Contaminante emitido	Combustible utilizado	Valor	Unidades
Partículas totales	Líquido (2)	150	mg/dm ³
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable
Óxidos de nitrógeno	Líquido (2)	2000	mg/dm ³
	Gaseoso	2000	mg/dm ³
Dióxido de azufre	Líquido (2)	1500	mg/dm ³
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable

Elaborado por: Evelyn Cazorla (Acuerdo Ministerial 155, 2007)

En la tabla 1, los combustibles líquidos hacen referencia a combustibles fósiles líquidos como diésel, kerosene, búnker C, petróleo crudo y naftas; en tal razón se puede verificar que no están establecidos límites máximos de emisión para el combustible fuel oil, ni para el parámetro monóxido de carbono.

En este contexto, considerando que la Constitución de la República del Ecuador (2008), reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, así como el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes, se procede a la ejecución del presente trabajo, el cual se basa en la comparación de los análisis de monitoreos de emisiones atmosféricas generadas por centrales termoeléctricas de Ecuador, durante el año 2018, que utilizan como fuente de combustible fuel oil.

Como hipótesis se planteó que la central termoeléctrica que mayor contaminación genera es Jaramijó en comparación con Termoesmeraldas y Guangopolo. En este sentido, para llevar a cabo la presente investigación, se trazó como objetivo general evaluar las emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas, a través de la

aplicación de índices de calidad para la determinación de límites máximos permisibles; para su ejecución se cumplieron con los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el índice de calidad del aire basado en análisis de monitoreo de emisiones atmosféricas de centrales termoeléctricas del Ecuador.
- Determinar los límites máximos permisibles de emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas que utilizan como fuente de combustible fuel oil.
- Establecer el índice de contaminación de las emisiones de las centrales termoeléctricas en estudio, a través del cálculo utilizando los caudales de emisión, puesto que son parámetros que perjudican la salud y la calidad del ambiente.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó la recopilación de información bibliográfica sobre centrales termoeléctricas; asimismo, se seleccionó empresas pertenecientes a este tipo de centrales, para cuyo funcionamiento se utiliza como fuente de combustible fuel oil #6 y que cuentan con análisis de monitoreos de emisiones correspondientes a un mismo periodo para el CO.

Una vez obtenidos los datos necesarios, se determinaron cuáles son los parámetros que no se encuentran normados en el país, y se procedió al cálculo del índice de calidad mediante la comparación de las emisiones de cada empresa, versus los límites máximos permisibles establecidos en normativa internacional, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación (Coral, K., 2019):

$$IC = \frac{Ca}{Lmp}$$

Ecuación 1. Índice de calidad del aire

Dónde:

IC es el índice de calidad del aire.

Ca es la concentración existente del contaminante a.

Lmp es el límite máximo permisible establecido en cada una de las normas establecidas.

Los valores obtenidos del cálculo del índice de calidad se interpretan de la siguiente manera (documento no publicado, 2019):

<1 La norma tiene un límite máximo permisible muy alto.

=1 La emisión de contaminantes se encuentra en equilibrio en relación a la normativa internacional utilizada para efectos del presente estudio.

>1 La norma aplicada cuenta con límites máximos permisibles demasiado bajos.

Seguidamente, se determinó el índice de contaminación, para lo cual, se aplicó la siguiente ecuación (Ibidem).

$$IQ = IC * f$$

Ecuación 2. Índice de contaminación

Dónde:

IQ es el índice de contaminación del aire

IC es el índice de calidad del aire

f es el flujo en cualquiera de las unidades de flujo establecidas.

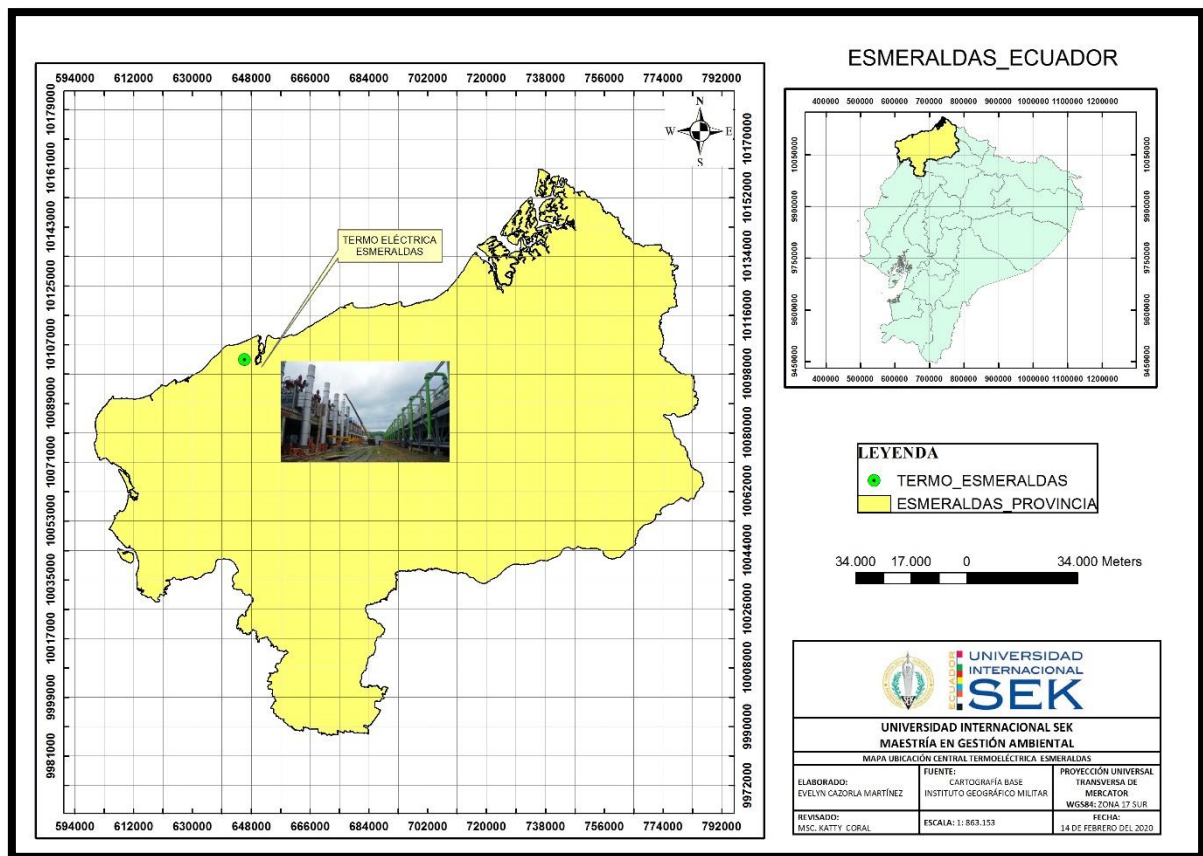
Una vez obtenidos los resultados del índice de calidad e índice de contaminación se procedió a la determinación de los valores límites que deben ser implementados para el control de emisiones de este tipo.

3.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló con base en los análisis de monitoreo de emisiones atmosféricas de tres centrales termoeléctricas de Ecuador, correspondientes al año 2018, ubicadas en las provincias de Pichincha, Manabí y Esmeraldas, siendo estas las principales del país, para cuyo funcionamiento utilizan como fuente de combustible fuel oil #6.

Termoesmeraldas II se encuentra ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón Esmeraldas, parroquia Simón Plata Torres, cuenta con una extensión de 205.618m² y constituye la tercera generadora termoeléctrica más grande del país, esta abastece a las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas (Izaguirre, C., 2015).

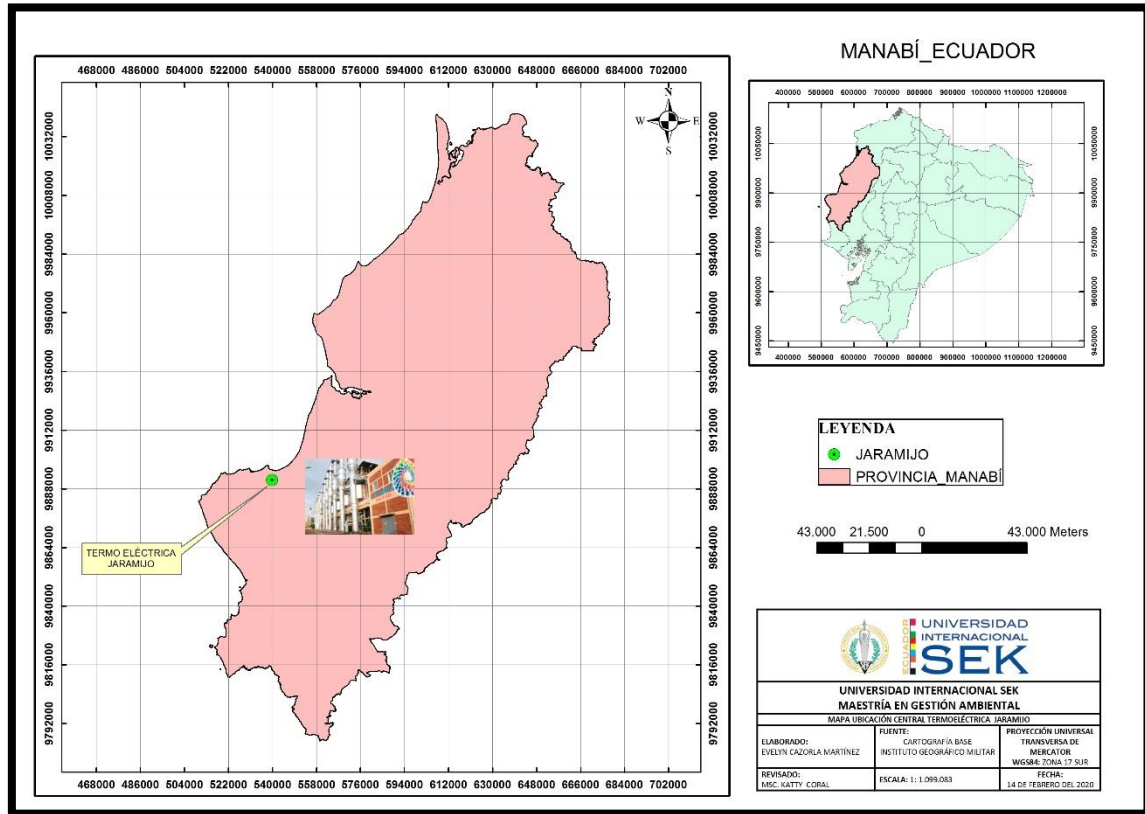
Figura 1. Localización de la central termoeléctrica Termoesmeraldas



Elaborado por: Evelyn Cazorla

La central termoeléctrica Jaramijó se encuentra ubicada en la vía Manta – Rocafuerte, en la comuna La Victoria, dentro de un área de 13 hectáreas, está conformada por 18 generadores, cada una con una potencia de 8.293MW, esta central se interconecta a la barra de 138kV de la Subestación Montecristi, la cual cubre parte de la demanda de Manabí (Loor, D., et al 2013).

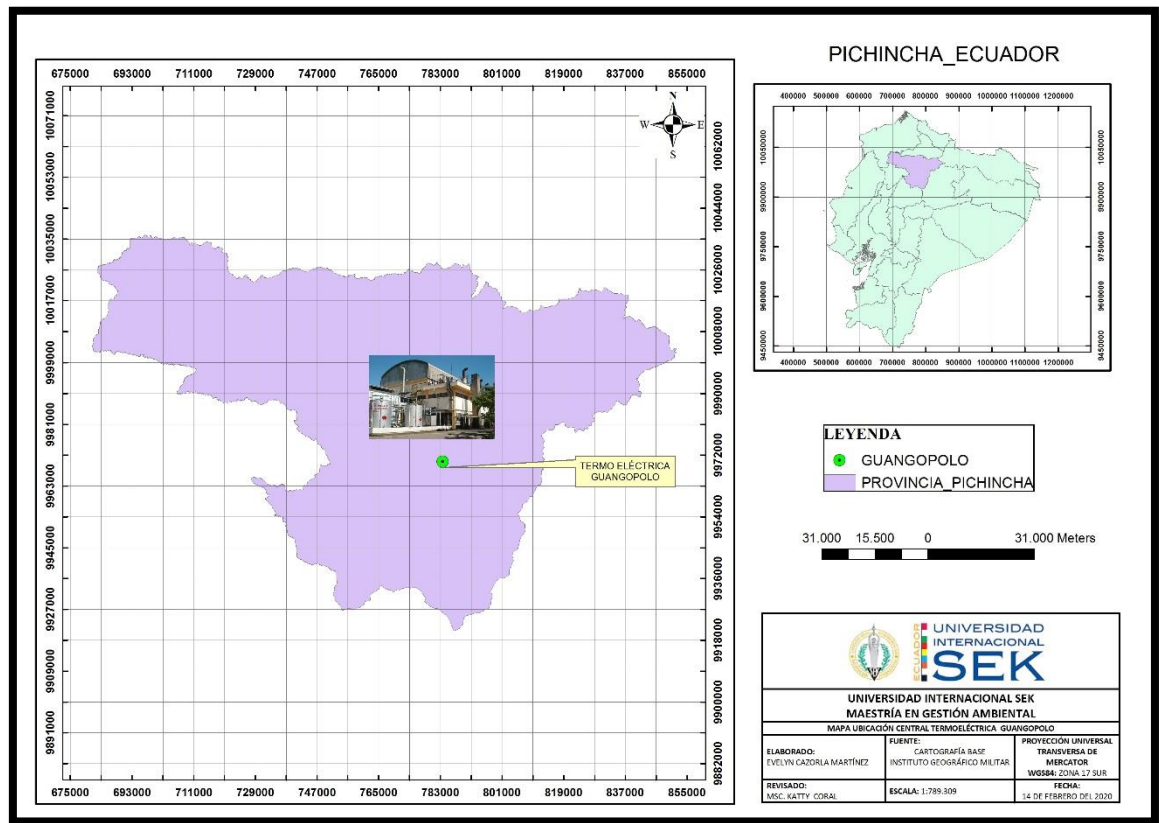
Figura 2. Localización de la central termoeléctrica Jaramijó



Elaborado por: Evelyn Cazorla

La central termoeléctrica Guangopolo, se encuentra ubicada en el valle de los Chillos, de la provincia de Pichincha, consta de una potencia instalada de 33 MW distribuidos en seis unidades de marca Mitsubishi MAN y una séptima unidad de 1.8 MW marca Wartsila. Los motores de combustión interna funcionan a base de fuel oíl #6 el mismo que es abastecido por la refinería Shushufindi (Lozano, G., Vásquez, Ch., 2013).

Figura 3. Localización de la central termoeléctrica Guangopolo



Elaborado por: Evelyn Cazorla

3.5. Indicador de Calidad y Contaminación

Para determinar el índice de calidad se realizó la recopilación de normativa internacional, correspondiente a los países de Colombia, España, México y República Dominicana, en la cual se establecen los límites máximos permisibles para centrales termoeléctricas que utilizan como fuente de combustible fuel oil o combustible líquido.

Tabla 2. Niveles máximos permisibles de emisión de equipos nuevos, México.

Parámetro	Combustible	LMP	Unidad
Material particulado	Líquido	NA	NA
SO ₂		2883,22	mg/m ³
CO		516	mg/m ³

Realizado por: Evelyn Cazorla (Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT, 2012)

En la tabla 2, se puede verificar los límites máximos permisibles establecidos en México aplicado a combustibles líquidos, tomados a condiciones normales, para equipos cuya capacidad térmica oscila entre los 0,14 MWh y 1,47 MWh.

Tabla 3. Límites máximos permisibles para centrales térmicas que usan fuel oíl, España.

Parámetro	Combustible	LMP	Unidad
Material particulado	Fuel oíl	250	mg/m ³
SO ₂		1700	mg/m ³
CO	Cualquier combustible y potencia	1655	mg/m ³

Realizado por: Evelyn Cazorla (Boletín Oficial del Estado, 2017)

En la tabla 3, se pueden verificar los límites máximos permisibles a condiciones normales para los parámetros material particulado y SO₂ para equipos cuya capacidad es menor a 50MW, que utilizan como fuente de combustible fuel oíl pesado de instalaciones nuevas y existentes; y para CO para cualquier tipo de combustible y potencia, los cuales se encuentran establecidos en España.

Tabla 4. Especificaciones de los límites de emisión de contaminantes al aire para fuentes fijas, República Dominicana

PARÁMETRO	COMBUSTIBLE	LMP	UNIDAD
Material particulado	Fuel oíl	50	mg/m ³
SO ₂		585	mg/m ³
NO ₂		220	mg/m ³
CO		1150	mg/m ³

Realizado por: Evelyn Cazorla (Reglamento Técnico Ambiental para el Control de las Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Fuentes Fijas, 2017)

En la tabla 4, se pueden verificar los límites máximos permisibles para los parámetros material particulado, SO₂, NO₂ y CO, tomados a condiciones normales, para instalaciones existentes que usan como fuente de combustible fuel oíl, de acuerdo a lo establecido en República Dominicana.

Tabla 5. Especificaciones de los límites de emisión de contaminantes al aire para fuentes fijas, Colombia

PARÁMETRO	COMBUSTIBLE	LMP	UNIDAD
Material particulado	Fuel oíl #6	100	mg/m ³
SO ₂		400	mg/m ³
NO ₂		250	mg/m ³
CO		170	mg/m ³

Realizado por: Evelyn Cazorla (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2003)

En la tabla 5, se puede verificar los límites máximos permisibles establecidos en Colombia, para equipos que están en funcionamiento desde el año 2010, que utilizan como combustible fuel oíl #6, para los parámetros material particulado, SO₂, NO₂ y CO, tomados a condiciones normales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6. Análisis de monitoreo de emisiones generadas por el uso de combustible fuel oíl #6 – central Termoesmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

Unidad	Año	Fecha	Potencia (MW)	Flujo del gas (m ³ /min)	Parámetro	Resultado (mg/m ³)	LMP (mg/m ³)
1	2012	14/03/2018	9000	704,3	CO	486,2	-
					NO _x	1431,9	2000
					SO ₂	258,5	1500
					PT	36,9	150
		29/05/2018	9000	713,1	CO	424,1	-
					NO _x	1178	2000
					SO ₂	906,8	1500
					PT	38,8	150
3	2012	27/02/2018	9000	722	CO	488,1	-
					NO _x	1401,5	2000
					SO ₂	334,6	1500
					PT	7,1	150
		29/05/2018	9000	735,5	CO	44,8	-
					NO _x	1371,8	2000
					SO ₂	896,2	1500
					PT	32	150
5	2012	27/02/2018	9000	793	CO	481,3	-
					NO _x	1342,1	2000
					SO ₂	422,3	1500
					PT	4,5	150
		29/05/2018	9000	735,5	CO	436	-
					NO _x	1159,3	2000
					SO ₂	916,9	1500
					PT	24	150

Realizado por: Evelyn Cazorla (Ministerio del Ambiente, 2018)

En la tabla 6, se puede visualizar los análisis de monitoreos correspondientes al año 2018 de la central Termoesmeraldas de las fuentes que utilizan como combustible fuel oíl #6, cuyo año de funcionamiento es 2012. Asimismo, se determina que conforme a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 155, se cuenta con límites máximos permisibles para los parámetros NO_x, SO₂ y partículas totales, con excepción del monóxido de carbono.

Tabla 7. Análisis de monitoreo de emisiones generadas por el uso de combustible fuel oíl #6 – central Jaramijó, Manabí, Ecuador.

Unidad	Año	Fecha	Potencia (MW)	Flujo del gas (m³/min)	Parámetro	Resultado (mg/m³)	LMP (mg/m³)
2	2011	22/02/2018	8,7	1118,8	CO	448,3	-
					NO _x	1078,7	2000
					SO2	282,8	1500
					PT	28,2	150
		17/10/2018		1256,1	CO	451,3	-
					NO _x	1203,8	2000
					SO2	672,6	1500
					PT	15,8	150
6	2011	22/02/2018	8,7	1194,6	CO	424,4	-
					NO _x	1062,6	2000
					SO ₂	284,1	1500
					PT	31,8	150
		17/10/2018		1216,5	CO	438,3	-
					NO _x	1218,4	2000
					SO ₂	702,4	1500
					PT	0,7	150
5	2011	22/02/2018	8,7	1126,8	CO	427,2	-
					NO _x	1138,7	2000
					SO ₂	361,2	1500
					PT	38,3	150
11	2011	22/02/2018		1194,6	CO	459,2	-
					NO _x	1190,6	2000
					SO ₂	691,3	1500
					PT	11,3	150

Realizado por: Evelyn Cazorla (Ministerio del Ambiente, 2018)

En la tabla 7, constan los análisis de monitoreos correspondientes al año 2018 de la central Jaramijó, ubicada en la provincia de Manabí, de las unidades 2, 6, 5 y 11, cuyo año de funcionamiento es 2011, las cuales utilizan como fuente de combustible fuel oíl #6.

Tabla 8. Análisis de monitoreo de emisiones generadas por el uso de combustible fuel oíl #6 – central Guangopolo, Pichincha, Ecuador.

Unidad	Año	Fecha	Potencia (MW)	Flujo del gas (m³/min)	Parámetro	Resultado (mg/m³)	LMP (mg/m³)
1	2014	27/03/2018	0,087	0,365	CO	20	-
					NO _x	1955	2000

Unidad	Año	Fecha	Potencia (MW)	Flujo del gas (m ³ /min)	Parámetro	Resultado (mg/m ³)	LMP (mg/m ³)
		22/10/2018	0,087	0,022	SO ₂	825	1500
					PT	27	150
					CO	34	-
					NO _x	2018	2000
					SO ₂	892	1500
					PT	74	150
2	2014	27/03/2018	0,087	0,308	CO	20	-
					NO _x	1985	2000
					SO ₂	819	1500
					PT	39	150
		22/10/2018	0,087	0,085	CO	39	-
					NO _x	2107	2000
					SO ₂	901	1500
					PT	93	150
3	2014	27/03/2018	0,087	0,216	CO	26	-
					NO _x	1908	2000
					SO ₂	775	1500
					PT	36	150
		22/10/2018	0,087	0,147	CO	90	-
					NO _x	1966	2000
					SO ₂	876	1500
					PT	150	150

Realizado por: Evelyn Cazorla (Ministerio del Ambiente, 2018)

En la tabla 8, se visualizan los análisis de monitoreos realizados en los meses de marzo y octubre, correspondiente al año 2018 de la central termoeléctrica Guangopolo, de las unidades 1, 2 y 3 que utilizan fuel oil #6 como fuente de combustible y cuyo año de funcionamiento es 2014.

Tabla 9. Características de las fuentes de emisión y concentración de monóxido de carbono

Empresa	Unidad	Fecha	Potencia (MW)	Flujo del gas (m ³ /min)	Concentración (mg/m ³)
Termoesmeraldas	1	14/03/2018	9,0	42258	486,2
		29/05/2018		42786	424,1
	3	27/02/2018	9,0	43320	488,1
		29/05/2018		44130	448,0
	5	27/02/2018	9,0	47580	481,3
		30/05/2018		44892	436,0
Jaramijó	2	22/02/2018	7,2	1118,8	448,3
		17/10/2018		1256,1	451,3

Empresa	Unidad	Fecha	Potencia (MW)	Flujo del gas (m ³ /min)	Concentración (mg/m ³)
	6	22/02/2018	7,2	1194,6	424,4
		17/10/2018		1216,5	438,3
	5	22/02/2018	7,2	1126,8	427,2
	11	22/02/2018	7,2	1194,6	459,2
Guangopolo	1	27/03/2018	0,0087	0,224	20,0
		22/10/2018		0,365	34,0
	2	27/03/2018	0,0087	0,853	20,0
		22/10/2018		0,308	39,0
	3	27/03/2018	0,0087	0,147	26,0
		22/10/2018		0,216	90,0

Realizado por: Evelyn Cazorla

Como puede comprobarse en la tabla 9, las emisiones de monóxido de carbono son menores en la termoeléctrica Guangopolo, seguidamente se encuentra la termoeléctrica Jaramijó y con mayor valores de emisiones se encuentra Termoesmeraldas, esto debido a la relación existente entre la potencia del equipo y el flujo del gas, es decir, a mayor potencia, mayor flujo, dando lugar a mayor generación de emisiones de monóxido de carbono.

Tabla 10. Límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono a nivel internacional a condiciones normales

País	Combustible	Parámetro	LMP (mg/m ³)
México	Fuel oil	CO	516
España			1655
República Dominicana			1150
Colombia			170

Realizado por: Evelyn Cazorla

Como puede verificarse en la tabla 10 correspondiente a los límites máximos permisibles, se puede determinar que la normativa más exigente corresponde a Colombia con 170 mg/m³, seguidamente, México con 516 mg/m³, luego República Dominicana con 1150 mg/m³ y finalmente España con 1655 mg/m³.

Tabla 11. Cálculo índice de calidad de acuerdo a: México, República Dominicana, España y Colombia

Empresa (Ecuador)	Unidad	Fecha	Concentración (mg/m ³)	Índice de calidad ecuatoriano obtenido con relación a normativa internacional			
				México	República Dominicana	España	Colombia
Termoesmeraldas	1	14/03/2018	486,2	0,94	0,42	0,29	2,86
		29/05/2018	424,1	0,82	0,37	0,26	2,49
	3	27/02/2018	488,1	0,95	0,42	0,29	2,87
		29/05/2018	448,0	0,87	0,39	0,27	2,64
	5	27/02/2018	481,3	0,93	0,42	0,29	2,83
		30/05/2018	436,0	0,84	0,38	0,26	2,56
	Promedio			0,89	0,40	0,28	2,71
Jaramijó	2	22/02/2018	448,3	0,87	0,39	0,27	2,64
		17/10/2018	451,3	0,87	0,39	0,27	2,65
	6	22/02/2018	424,4	0,82	0,37	0,26	2,50
		17/10/2018	438,3	0,85	0,38	0,26	2,58
	5	22/02/2018	427,2	0,83	0,37	0,26	2,51
	11	22/02/2018	459,2	0,89	0,40	0,28	2,70
	Promedio			0,86	0,38	0,27	2,60
Guangopolo	1	27/03/2018	20,0	0,04	0,02	0,01	0,12
		22/10/2018	34,0	0,07	0,03	0,02	0,20
	2	27/03/2018	20,0	0,04	0,02	0,01	0,12
		22/10/2018	39,0	0,08	0,03	0,02	0,23
	3	27/03/2018	26,0	0,05	0,02	0,02	0,15
		22/10/2018	90,0	0,17	0,08	0,05	0,53
	Promedio			0,44	0,03	0,02	0,22

Realizado por: Evelyn Cazorla

En la tabla 11, consta que el índice de calidad ecuatoriano obtenido con respecto a España es bajo, es decir, cumple con la normativa ambiental aplicable, seguidamente se encuentran República Dominicana, en el cual las termoeléctricas en estudio analizadas cumplen con lo establecido en la normativa de dicho país, en tercer lugar se encuentra México, con cuya normativa las centrales termoeléctricas Termoesmeraldas y Jaramijó superan el índice de calidad y finalmente se encuentra Colombia, donde el índice de contaminación supera por nueve veces el índice obtenido con respecto a España.

Tabla 12. Cálculo del índice de contaminación ecuatoriano con respecto a la normativa mexicana.

Empresa (Ecuador)	Unidad	Potencia (MW)	Flujo (m³/min)	Concentración CO (mg/m³)	Relación flujo - potencia (m³/minMW)	IC	IQ (m³/minMW)
Termoesmeraldas	1	9,0	42258	486,2	4695,3	0,94	4191,4
			42786	424,1	4754,0	0,82	4243,7
	3	9,0	43320	488,1	4813,3	0,95	4296,7
			44130	448,0	4903,3	0,87	4377,0
	5	9,0	47580	481,3	5286,7	0,93	4719,2
			44892	436,0	4988,0	0,84	4452,6
	Promedio					0,89	4380,1
Jaramijó	2	7,2	1118,8	448,3	155,4	0,87	133,5
			1256,1	451,3	174,5	0,87	149,8
	6	7,2	1194,6	424,4	165,9	0,82	142,5
			1216,5	438,3	169,0	0,85	145,1
	5	7,2	1126,8	427,2	156,5	0,83	134,4
	11	7,2	1194,6	459,2	165,9	0,89	142,5
	Promedio					0,86	141,3
Guangopolo	1	0,0087	0,224	20,0	25,7	0,04	1,90
			0,365	34,0	42,0	0,07	3,10
	2	0,0087	0,853	20,0	98,0	0,04	7,25
			0,308	39,0	35,4	0,08	2,62
	3	0,0087	0,147	26,0	16,9	0,05	1,25
			0,216	90,0	24,8	0,17	1,84
	Promedio						0,07

Realizado por: Evelyn Cazorla

En la tabla 12, se puede visualizar el índice de calidad obtenido a partir de la comparación entre el resultado de las fuentes de monitoreo de las tres centrales termoeléctricas y el límite máximo permisible establecido en México.

Tabla 13. Cálculo del índice de contaminación ecuatoriano con respecto a la normativa de República Dominicana

Empresa	Unidad	Potencia (MW)	Flujo (m³/min)	Concentración CO (mg/m³)	Relación flujo - potencia (m³/minMW)	IC	IQ (m³/minMW)
Termoesmeraldas	1	9,0	42258	486,2	4695,3	0,42	1880,65
			42786	424,1	4754,0	0,37	1904,15
	3	9,0	43320	488,1	4813,3	0,42	1927,91
			44130	448,0	4903,3	0,39	1963,96
	5	9,0	47580	481,3	5286,7	0,42	2117,50
			44892	436,0	4988,0	0,38	1997,87
	Promedio					0,40	1965,34
Jaramijó	2	7,2	1118,8	448,3	155,4	0,39	59,65
			1256,1	451,3	174,5	0,39	66,97
	6	7,2	1194,6	424,4	165,9	0,37	63,69
			1216,5	438,3	169,0	0,38	64,86
	5	7,2	1126,8	427,2	156,5	0,37	60,08
	11	7,2	1194,6	459,2	165,9	0,40	63,69
	Promedio					0,38	63,16
Guangopolo	1	0,0087	0,224	20,0	25,7	0,02	0,85
			0,365	34,0	42,0	0,03	1,39
	2	0,0087	0,853	20,0	98,0	0,02	3,25
			0,308	39,0	35,4	0,03	1,17
	3	0,0087	0,147	26,0	16,9	0,02	0,56

Empresa	Unidad	Potencia (MW)	Flujo (m³/min)	Concentración CO (mg/m³)	Relación flujo - potencia (m³/minMW)	IC	IQ (m³/minMW)
			0,216	90,0	24,8	0,08	0,82
			Promedio			0,03	1,34

Realizado por: Evelyn Cazorla

Con base en los resultados obtenidos en la tabla 13, se determina que Termoesmeraldas es la central que mayor contaminación genera en comparación con Jaramijó y Guangopolo, de acuerdo a la comparación realizada entre el flujo y la potencia de cada unidad, por el índice de calidad, con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en República Dominicana.

Tabla 14 Cálculo del índice de contaminación ecuatoriano con respecto a la normativa establecida en España.

Empresa	Unidad	Potencia (MW)	Flujo (m³/min)	Relación flujo - potencia (m³/minMW)	Concentración (mg/m³)	IC	IQ (m³/minMW)
Termoesmeraldas	1	9,0	42258	4695,33	486,2	0,29	1306,80
			42786	4754,00	424,1	0,26	1323,12
	3	9,0	43320	4813,33	488,1	0,29	1339,64
			44130	4903,33	448,0	0,27	1364,69
	5	9,0	47580	5286,67	481,3	0,29	1471,38
			44892	4988,00	436,0	0,26	1388,25
	Promedio					0,28	1365,65
Jaramijó	2	7,2	1118,8	155,39	448,3	0,27	41,45
			1256,1	174,46	451,3	0,27	46,53
	6	7,2	1194,6	165,92	424,4	0,26	44,26

Empresa	Unidad	Potencia (MW)	Flujo (m³/min)	Relación flujo - potencia (m³/minMW)	Concentración (mg/m³)	IC	IQ (m³/minMW)
			1216,5	168,96	438,3	0,26	45,07
	5	7,2	1126,8	156,50	427,2	0,26	41,74
	11	7,2	1194,6	165,92	459,2	0,28	44,26
	Promedio					0,27	43,88
Guangopolo	1	0,0087	0,224	25,75	20,0	0,01 2	0,59
			0,365	41,95	34,0	0,02 1	0,97
	2	0,0087	0,853	98,05	20,0	0,01 2	2,26
			0,308	35,40	39,0	0,02 4	0,82
	3	0,0087	0,147	16,90	26,0	0,01 6	0,39
			0,216	24,83	90,0	0,05 4	0,57
	Promedio					0,02	0,93

Realizado por: Evelyn Cazorla

Conforme a los resultados obtenidos en la tabla 14, se determina que Guangopolo es la termoeléctrica que tiene menor índice de contaminación por emisiones de monóxido de carbono, en comparación con Termoesmeraldas y Jaramijó, conforme a la relación existente entre el flujo, la potencia y el índice de calidad de acuerdo al límite máximo permisible establecido en España.

Tabla 15 Cálculo del índice de contaminación ecuatoriano con respecto a la normativa establecida Colombia.

Empresa	Unidad	Potencia (MW)	Flujo (m³/min)	Relación flujo – potencia (m3/minMW)	Concentración - CO (mg/m³)	IC	IQ (m3/minMW)
Termoesmeraldas	1	9,0	42258	4695,33	486,2	2,86	12722,05
			42786	4754,00	424,1	2,49	12881,01
	3	9,0	43320	4813,33	488,1	2,87	13041,77
			44130	4903,33	448,0	2,64	13285,63
	5	9,0	47580	5286,67	481,3	2,83	14324,28
			44892	4988,00	436,0	2,56	13515,03
	Promedio					2,71	13294,96
Jaramijó	2	7,2	1118,8	155,39	448,3	2,64	403,51
			1256,1	174,46	451,3	2,65	453,03
	6	7,2	1194,6	165,92	424,4	2,5	430,85
			1216,5	168,96	438,3	2,58	438,75
	5	7,2	1126,8	156,50	427,2	2,51	406,39
	11	7,2	1194,6	165,92	459,2	2,7	430,85
	Promedio					2,6	427,23
Guangopolo	1	0,0087	0,224	25,75	20,0	0,12	5,78
			0,365	41,95	34,0	0,2	9,42
	2	0,0087	0,853	98,05	20,0	0,12	22,01
			0,308	35,40	39,0	0,23	7,95
	3	0,0087	0,147	16,90	26,0	0,15	3,79
			0,216	24,83	90,0	0,53	5,57
	Promedio					0,22	9,09

Realizado por: Evelyn Cazorla

Conforme a los resultados obtenidos en la tabla 15 se determina que Termoesmeraldas cuenta con el mayor índice de contaminación con respecto a emisión de monóxido de carbono, en comparación con Jaramijó y Guangopolo, con respecto al límite máximo permisible establecido en Colombia.

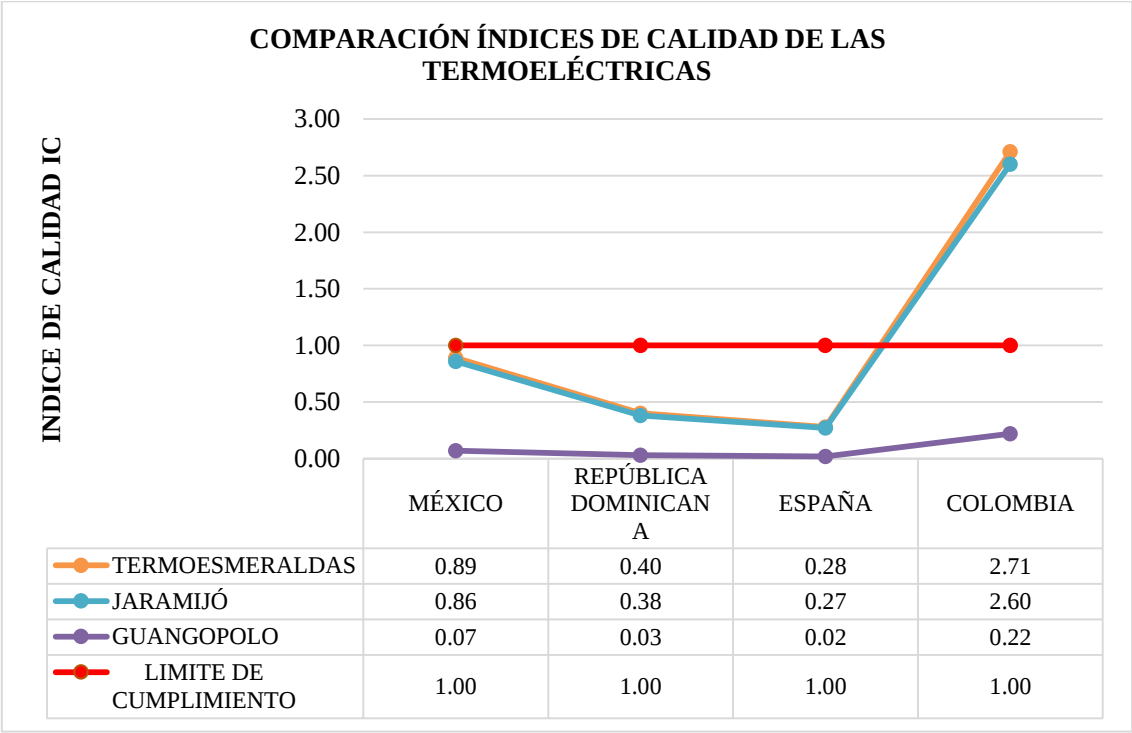
Tabla 16. Comparación del índice de calidad de las termoeléctricas ecuatorianas con respecto a otros países

Empresa	México	República Dominicana	España	Colombia
Termoesmeraldas	0,89	0,40	0,28	2,71
Jaramijó	0,86	0,38	0,27	2,60
Guangopolo	0,07	0,03	0,02	0,22

Realizado por: Evelyn Cazorla

Conforme a los resultados obtenidos en la tabla 16, correspondiente a los índices de calidad, se determina que el límite máximo permisible establecido por México es el que más se adapta a la realidad de Ecuador, puesto que, el límite establecido en España es muy permisible y los límites establecidos en Colombia son muy exigentes.

Figura 4. Comparación del índice de calidad de las termoeléctricas



Realizado por: Evelyn Cazorla

Como puede verificarse en la figura 4, la central Guangopolo cuenta con un índice de calidad por debajo del límite, es decir, cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa en los cuatro países. Con respecto a Jaramijó y Termoesmeraldas se determinó que el índice de calidad es muy malo con respecto al límite de cumplimiento establecido en Colombia.

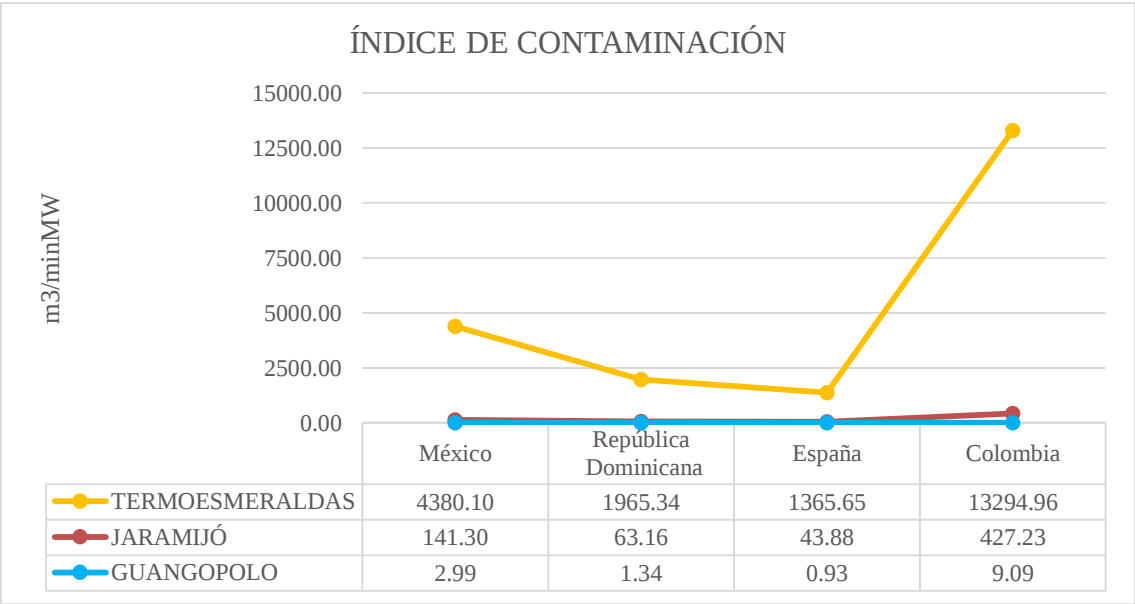
Tabla 17. Índice de contaminación (IQ)

Empresa	México (m³/minMW)	República Dominicana (m³/minMW)	España (m³/minMW)	Colombia (m³/minMW)
Termoesmeraldas	4380,10	1965,34	1365,65	13294,96
Jaramijó	141,30	63,16	43,88	427,23
Guangopolo	2,99	1,34	0,93	9,09

Realizado por: Evelyn Cazorla

Conforme a los datos obtenidos en la tabla 17, correspondientes al índice de contaminación, se determinó que la central termoeléctrica Guangopolo genera menor contaminación con respecto al monóxido de carbono, seguidamente Jaramijó y finalmente Termoesmeraldas.

Figura 5. Comparación del índice de contaminación de las termoeléctricas



Realizado por: Evelyn Cazorla

Con base en los resultados obtenidos en la figura 5, correspondiente al índice de contaminación, se puede determinar que respecto a la normativa de los cuatro países, Termoesmeraldas es la central termoeléctrica con mayor índice de contaminación de monóxido de carbono, en comparación con Jaramijó y finalmente se encuentra Guangopolo.

5.-CONCLUSIONES

Se determinó el índice de calidad del aire basado en análisis de monitoreo de emisiones atmosféricas para el monóxido de carbono de las centrales termoeléctricas Guangopolo, Jaramijó y Termoesmeraldas, mediante el cual, Termoesmeraldas cuenta con índice de muy baja calidad, cuyo valor es 2,71 en comparación con lo establecido en la normativa de Colombia, en segundo lugar se encuentra Jaramijó siendo un valor de 2,60 y Guangopolo en tercer lugar con valor de 0,22, siendo 1 (uno) el valor óptimo, el cual fue obtenido con la aplicación de la normativa establecida en México con 0,89 en Termoesmeraldas, 0,86 en Jaramijó y 0,07 en Guangopolo.

Se determinó los límites máximos permisibles de emisiones no reguladas (CO) para centrales termoeléctricas que utilizan como fuente de combustible fuel oil, considerando que el valor límite a normarse en Ecuador debe ser tomando en cuenta el establecido en la norma mexicana, que corresponde a un valor de 516 mg/m³ de CO, puesto que las emisiones de las centrales termoeléctricas en estudio se asemejan a esa concentración y dan lugar a un índice de calidad muy cercano a 1, lo que permite decir que es el valor más adecuado.

Se estableció el índice de contaminación de las emisiones de CO de las centrales termoeléctricas en estudio, determinándose que la calidad de emisiones de las centrales Termoesmeraldas y Jaramijó es mala, sin embargo, quien más contamina es Termoesmeraldas con respecto a Guangopolo y Jaramijó, por lo que es importante mencionar que mayor potencia de los equipos, existe mayor contaminación.

6.- RECOMENDACIONES

Conforme a la investigación realizada se recomienda continuar con el estudio considerando otras centrales termoeléctricas, así como la normativa establecida en otros países, con el objeto de que el límite máximo sugerido en la presente investigación sea implementado en la normativa nacional aplicable a centrales termoeléctricas, para cuyo funcionamiento utilicen como fuente de combustible fuel oil #6.

REFERENCIAS CITADAS

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. 2019. Balance Nacional de Energía

Eléctrica a diciembre 2019. Quito. Ecuador. Recuperado de:

<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>

Asociación de Generadores de Energía Eléctrica de la República Argentina. 2009. La

Generación Eléctrica. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de:

http://dellorotrigo.com.ar/imagenesasuntos/energia_dobles.pdf

Cabrera, S., Giacobone, G. 2010. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de:

<https://books.google.com.ec/books?id=ZLD6Zc5vjgWC&printsec=frontcover&dq=que+son+los+%C3%ADndices+de+calidad+del+aire&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwizusfSztbnAhUi1VkKHTSzBOYQ6AEIJzAA#v=onepage&q=que%20son%20los%20%C3%ADndices%20de%20calidad%20del%20aire&f=false>

Calderón, S., Huetas, M., López, S. 2015. Manejo de Equipos de Depuración y Control

de Emisiones Atmosféricas. España. Recuperado de:

<https://books.google.com.ec/books?id=sbRWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+son+las+emisiones+atmosfericas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj21ruSiNfnAhVmneAKHfU8D0IQ6AEIMjAB#v=onepage&q=que%20son%20las%20emisiones%20atmosfericas&f=false>

Campos, I. 2000. Saneamiento Ambiental. San José. Costa Rica. Recuperado de:

https://books.google.com.ec/books?id=lsgrGBGlGeMC&pg=PA94&dq=efectos+del+monoxido+de+carbono&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjJ6q_nzttnAhXJtVkKHQ1wC_kQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false

Carreras, R., Calventus, Y., et al. 2006. Tecnología energética y medio ambiente – I.

España. Recuperado de:

<https://books.google.com.ec/books?id=jGZFqXPzrVYC&pg=PA33&dq=efectos>

+de+las+emisiones+en+el+ambiente&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiEt6jFv9bn
AhXIwFkKHRegDYcQ6AEILjAB#v=onepage&q=efectos%20de%20las%20e
misiones%20en%20el%20ambiente&f=false

Carrillo, P. 2006. Indicadores Ambientales y Modelos Internacionales para toma de Decisiones. Medellín. Colombia. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/pdf/1694/169420986007.pdf>

Carrillo, S., Urgilés, P. 2016. Determinación del Índice de Calidad De Agua ICA-Nsf de los Ríos Mazar y Pindilig. Cuenca. Ecuador. Recuperado de:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>

Ciesla, M. 2006. Cambio Climático, Bosques y Ordenación Forestal. Roma. Italia. Recuperado de:
<https://books.google.com.ec/books?id=DzoW7rZmY5QC&pg=PA19&dq=efecto+invernadero+y+el+monoxido+de+carbono&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjK6JP04dnnAhUPwlkKHSIZDPgQ6AEIKjAA#v=onepage&q=efecto%20invernadero%20y%20el%20monoxido%20de%20carbono&f=false>

Delgado, Ch., Lozano, G., Vásquez, G., 2013. Análisis Técnico del uso de Transformadores de Respaldo para los Transformadores de Servicios Auxiliares para las Centrales de Generación de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP. Quito. Ecuador.

Fajardo, A., Rodríguez, A., Téllez, J., 2006. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. Colombia. Recuperado de:
<https://www.scielosp.org/article/rsap/2006.v8n1/108-117/pt/>

Garibay, V., Iniestra, R., Laguna, I., et al. 2006. Introducción a la evaluación de los impactos de las termoeléctricas de México. Recuperado de:
<http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/130/>

496_2006_Intr_evaluacion_impactos_termoelectricas_Mexico.pdf?sequence=1
&isAllowed=y

Gobierno de la ciudad de México. 2020. Índice de Calidad del Aire. México.

Recuperado de:

<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=%27&dc=Zw==>

Harper, E. 2011. Tecnologías de Generación Eléctrica. México. Recuperado de:

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BUINAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA10&dq=generacion+de+energia&ots=qgfZQqJNiM&sig=Su6Wlrl28Tfu_0AakIdDQVg4kwE#v=onepage&q=generacion%20de%20energia&f=false

Izaguirre, C. 2013. Análisis de un sistema de Control distributivo para Generación Eléctrica con Motores de Combustión Interna en una Central Termoeléctrica.

Cuenca. Ecuador. Recuperado de:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4730/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-66.pdf>

Lloor, D., Rodríguez, G., Saavedra, J., et. al. 2013. Estudios de Coordinación de las Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados a la Central Termoeléctrica Jaramijó. Guayaquil. Ecuador. Recuperado de:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25270/1/Resumen%20de%20tesis%20DLloor%2c%20GRodr%2c%20adguez%20y%20JZurita%2c%20director%20de%20tesis%20MSc.%20Juan%20Saavedra%20M%2c%2007%20ago%202013.pdf>

Ministerio del Ambiente. 2007. Acuerdo Ministerial 155 Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los Sectores de Infraestructura: Eléctrico, Telecomunicaciones y Transporte (Puertos y Aeropuertos). Quito. Ecuador.

Mogrovejo, F. 2015. Evaluación de las Tendencias de Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca Durante los Años 2000 – 2013”. Cuenca. Ecuador. Recuperado de:

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22410/1/TESIS.pdf>

Mujal, R. 2003. Tecnología Eléctrica. España. Recuperado de:
<https://books.google.com.ec/books?id=tDzDoH5XLeIC&pg=PA359&dq=centrales+termoelectricas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj36yFu9bnAhUGxVkKHQigAuUQ6AEIMTAB#v=onepage&q&f=false>

SAACKE GmbH, 2020. Fuel Oil Pesado. Bremen. Alemania. Recuperado de:

<https://www2.saacke.com/es/combustibles/combustibles-estandar/fuel-oil-pesado/>

Secretaría de Ambiente.2005. Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Quito. Ecuador. Recuperado de:

http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/inventario_05.pdf