

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE METODOLOGÍAS DESARROLLADAS PARA EL CÁLCULO DE GEI PARA LA GENERACIÓN TÉRMICA, ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS Y CÁLCULO DE EMISIONES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

CARLOS DANIEL CORTEZ SANTAMARÍA

DIRECTOR: XIMENA PATRICIA GAVELA GUAMÁN

Quito, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, CARLOS DANIEL CORTEZ SANTAMARÍA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

CARLOS DANIEL CORTEZ SANTAMARÍA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CARLOS DANIEL CORTEZ SANTAMARÍA, bajo mi supervisión.

XIMENA PATRICIA GAVELA
DIRECTOR

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

NOMBRE_REVISOR1
REVISOR1 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

NOMBRE_REVISOR2
REVISOR2 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CARLOS DANIEL CORTEZ SANTAMARÍA

XIMENA PATRICIA GAVELA

DEDICATORIA

A Ana Lilia y Carlos Patricio.

Hubiera estado perdido sin ustedes.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por el regalo maravilloso de la vida, a la Virgencita María por acompañarme en cada paso que he dado.
- A mis padres Ana Lilia y Carlos Patricio, quienes con valentía han demostrado ser fuente de inspiración.
- A mis hermanos Faty y Martín, con quienes he descubierto la felicidad.
- A todos mis amigos con quienes he pasado las más largas horas de risa y frustración dentro de la EPN.
- A mis amigos que he conocido con el paso de los años.
- A la Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, por haberme acogido y permitido formarme en sus aulas.
- A mis profesores de primaria de la Escuela Francisco Flor y secundaria del I.S.T.D Guayaquil de la ciudad de Ambato, quienes han sido guía para seguir estudiando y parte fundamental en mi formación como persona.
- A mis profesores en la Escuela Politécnica Nacional, que han permitido llenar de conocimiento útil para ser un buen profesional. De manera especial a la Dra. Patricia Gavela por el tiempo dedicado para corregir este proyecto.

ABREVIATURAS

GEI: Gases de Efecto Invernadero, gases que absorben y emiten radiación.

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change), organización intergubernamental formada por las naciones unidas para promover un criterio objetivo del cambio climático.

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)

HFC: Hidrofluorocarbonos.

CFC: Clorofluorocarbonados, son sustancias con elevada toxicidad y elevado potencial de destrucción de la capa de ozono.

SF6: Hexafluoruro de azufre

MDL: Mecanismo de desarrollo limpio

SNI: Sistema Nacional Interconectado

mpc: milipies cúbicos

kpc: kilo pie cúbico

MCI: Motores de Combustión Interna

t CO₂/MWh: Toneladas de CO₂ por Megavatio hora

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
1 introducción	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Definiciones Generales.....	3
1.4.2 Cambio Climático	4
1.4.3 Energía termoeléctrica.....	6
1.4.4 Cálculo del factor de emisión de un sistema eléctrico.....	10
1.4.5 Herramienta para cálculo de eficiencia del sistema de generación de energía (Tool 09)	14
1.4.6 Cálculo de Factor de emisión de Centrales (<i>EFEL, m, y</i>).....	16
1.5 Panorama del sector eléctrico ecuatoriano	18
1.5.1 Generación de energía en el año 2020	20
2 METODOLOGÍA.....	22
2.1 Análisis de parámetros para el cálculo del factor de emisión	25
2.1.1 Tratamiento de datos.....	25
2.1.2 Datos de consumo de combustible	28
2.1.3 Datos de generación de energía	33
2.1.4 Valor calorífico de los combustibles.....	34
2.1.5 Factor de emisión de CO ₂ de los combustibles	35
2.1.6 Eficiencia de la central ($\eta_{m, y}$).....	36
2.2 Cálculo de factor de emisión de la central con datos de generación y consumo de combustibles.....	38
2.3 Cálculo de factor de emisión según la eficiencia de la central	40
2.4 Análisis de los resultados obtenidos	42

2.5	Proyección del factor de emisión de una nueva central térmica con tecnología a base de MCI	44
2.6	Calculadora de factor de emisión para centrales en App Designer de Matlab	45
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
3.1	Conclusiones.....	47
3.2	Recomendaciones.....	49
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
5	ANEXOS.....	53
	ANEXO I	54
	ANEXO II	56

1 INTRODUCCIÓN

El exceso de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es el mayor causante del cambio climático global, y es justamente la producción de energía eléctrica de las centrales térmicas las que presentan un mayor factor de emisión de CO₂, contribuyendo de esta manera al aumento de los GEI en el planeta. En la actualidad el 80% de la energía proviene de combustibles fósiles y aproximadamente un 67% se emplea para la generación de electricidad. La ignición de combustibles fósiles genera GEI, debido a que los combustibles poseen gran cantidad de hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrógeno) y compuestos heteroátomos como azufre, nitrógeno y oxígeno con lo que se forman estos gases [1], [2].

Dentro de este contexto, ante la necesidad de controlar las emisiones que se generan en distintos sectores productivos, la organización para el cambio climático a nivel mundial (UNFCCC) ha establecido metodologías que permiten calcular indicadores relacionados con estas emisiones. En este trabajo de integración curricular, se lleva a cabo el análisis de las metodologías para el cálculo de emisiones de CO₂ en generación termoeléctrica y desarrolla los cálculos para las centrales térmicas basadas en el funcionamiento de motores de combustión interna. Las metodologías realizadas requieren información sobre el sistema de cada central térmica, la cantidad y las propiedades de los combustibles que se utilizan en un año determinado.

A través de las metodologías planteadas por la UNFCCC, se realiza el cálculo del factor de emisión de las centrales con funcionamiento a base de MCI conectados al SNI, por dos métodos diferentes. Los resultados del proyecto permiten evidenciar centrales optimas y centrales que requieren ser modificadas o remplazadas con un nuevo proyecto más eficiente y de energía limpia.

Adicionalmente, como parte del trabajo, se desarrolla un aplicativo de cálculo desarrollado en la App designer de Matlab. El aplicativo es didáctico y puede ser de utilidad para personas que trabajan en el monitoreo y control de acciones o medidas de eficiencia energética que se realizan en el país, con el objetivo de contribuir a la mitigación del cambio climático, que es un fenómeno que afecta la población en general. Incluso permite dar seguimiento de los factores que se utilizan para el cálculo del factor de emisión del sistema eléctrico del país.

1.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología de cálculo para emisiones de gases de efecto invernadero de motores de combustión interna, integrando las herramientas para el cálculo de factor de emisión de la UNFCCC.

1.2 Objetivos específicos

Realizar el análisis del estado del arte de las metodologías para el cálculo de emisiones de efecto invernadero producido por la generación térmica.

Aplicar la metodología de cálculo para una central basada en el funcionamiento de motores de combustión.

Desarrollar un aplicativo para realizar de forma automática los cálculos en este tipo de centrales.

1.3 Alcance

Para el desarrollo de este componente se realizará un análisis de las metodologías existentes para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono producidas por la generación de energía eléctrica en centrales de generación termoeléctrica.

Se desarrollará una metodología para el cálculo de emisiones producidas por motores de combustión interna de centrales de generación locales. La metodología se basará en las herramientas descritas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC). Como parte del componente, se desarrollará además un aplicativo de cálculo, el cual constituirá una de herramienta de fácil comprensión para los interesados en desarrollar este tipo de cálculos para el control adecuado de indicadores relacionados con este tipo de emisiones, acciones que recaen dentro del ámbito de control y seguimiento a medidas de eficiencia energética.

1.4 Marco teórico

A continuación, se presentan las principales definiciones utilizadas para la mejor comprensión de este documento:

1.4.1 Definiciones Generales.

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), es un mecanismo internacional que contribuye a la reducción de los GEI, generando reducciones certificadas de emisiones. El propósito del MDL es ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible [1].

Factor de Emisión de CO₂: es la masa estimada de toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera, por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada en base a la ignición de combustibles fósiles [1].

Generación neta: cantidad total de energía eléctrica generada por una central de energía menos el consumo de electricidad de los sistemas auxiliares de la central (refrigeración, control y otros) [1].

Unidades de bajo costo/funcionamiento obligatorio (LCMR- Low Cost/Must-Run): son definidas como centrales de costos marginales de generación o despachadas independientemente de la carga diaria o temporal de la red. Incluyen generación hidroeléctrica, geotérmica, eólica, de biomasa de bajo costo, nuclear y solar. Si una planta de combustibles fósiles se despacha independientemente de la carga diaria o estacional de la red y si esto puede demostrarse con base en los datos disponibles públicamente, debe considerarse como de LCRM. Las importaciones de electricidad se tratan como una central eléctrica LCMR [1].

Programa de deslastre de carga: es una acción planificada que consiste en el corte deliberado del suministro eléctrico a partes del sistema eléctrico. La desconexión es requerida cuando existe un desequilibrio entre la demanda de electricidad y el suministro de electricidad [1].

Carga anual más baja del sistema (LASL) - es el valor mínimo registrado de carga horaria en MW en una red durante un año calendario [1].

Carga anual más alta del sistema (HASL) - es el valor máximo registrado de carga horaria en MW en una red durante un año calendario [1].

Energía bruta: es la energía total producida por unidad de generación [2].

Energía neta: es igual a la energía bruta menos el consumo de auxiliares de unidades de generación [2].

Potencia Nominal: total de la potencia, sin deducciones de los servicios auxiliares entregada por la unidad, es la potencia establecida en los datos de placa de un generador [3].

Potencia Efectiva: es la potencia máxima que se puede obtener de una unidad generadora bajo condiciones normales de operación [2].

Valor calorífico Neto: se define como valor calorífico de un combustible, a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa de dicho combustible [4].

Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.): es el sistema integrado por los elementos del Sistema Eléctrico conectados entre sí, el cual permite la producción y transferencia de energía eléctrica entre centros de generación, centros de consumo y nodos de interconexión internacional, dirigido a la prestación del servicio público de energía eléctrica [5].

1.4.2 Cambio Climático

El aumento de la temperatura y sus efectos en los ecosistemas del planeta se denomina cambio climático. El cambio climático es una realidad que se ha ido palpando en las últimas décadas a nivel global a través de distintos escenarios como: la extinción de especies, el incremento de lluvias o la ausencia de estas, el desprendimiento de los glaciales, olas de calor, entre otras, todo esto como producto del incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) [6]. Los denominados Gases de efecto invernadero [7], son un componente gaseoso localizado en la atmósfera terrestre, los cuales pueden ser producidos de manera natural o antropogénica. Estos gases permiten que la tierra mantenga una temperatura promedio de 14 °C en la superficie [8], [9], unos 30°C mayor al que tendría sin ellos, sin embargo, la alteración de los porcentajes naturales de GEI en la atmosfera como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, han causado un cambio en la regulación natural de la temperatura en el planeta tierra [10]. Los GEI de mayor impacto en el calentamiento global son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂) y el Ozono (O₃); además, los gases que se encuentran en menor proporción, más no por eso dejan de ser significativos son los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (HF₆) [7], [11].

1.4.2.1 La Revolución Industrial y el Efecto Invernadero

El efecto invernadero se define como el proceso en el cual se conserva parte de la energía térmica emitida por el sol en la atmósfera de la Tierra, por la presencia de gases que absorben y emiten radiación [8], [9].

Los GEI han estado presentes en la tierra durante millones de años en una proporción natural en la atmósfera menor al 1%. Este porcentaje se ha mantenido debido al equilibrio entre fuentes y sumideros de GEI [9], sin embargo, el humano ha creado más fuentes y ha destruido sumideros naturales de GEI, lo cual ha causado que los porcentajes de GEI aumenten [8], [9] y que se produzca un aumento importante de temperatura en el planeta, que se atribuye al cambio climático, y que ha sido desencadenado por el desarrollo tecnológico que ha surgido como consecuencia de la revolución industrial surgida entre los años 1760 y 1900 [12].

Si bien, la revolución industrial, ha permitido el fácil acceso a tecnologías, como la máquina de vapor, que influyó y aportó de manera significativa al desarrollo de Europa y Estados Unidos, ha producido un enorme impacto ambiental, debido a la quema de combustibles utilizados para que funcione; es por eso por lo que hoy en día a nivel mundial se impulsan distintas iniciativas para revertir los efectos del cambio climático y lograr su mitigación.

1.4.2.2 Convenios para mitigar el cambio climático

A continuación, se citan las convenciones sobre cambio climático, de las cuales forma parte el Ecuador:

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático

Debido a los efectos del cambio climático y la necesidad de tomar medidas para evitar el calentamiento del planeta, la Organización de las Naciones Unidas creó en 1988, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), este grupo informó que los niveles de GEI, debían reducirse entre 60% y 80%, respecto a niveles de 1990; por lo cual los gobiernos pusieron en marcha la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático - UNFCCC [13].

El objetivo de la creación la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático». El objetivo debe cumplir con un plazo suficiente el cual permita a los

ecosistemas adaptarse para poder recuperarse, sin afectar la producción de alimentos y el desarrollo económico sostenible [13], [14].

Protocolo de Kioto.

Fue aprobado en diciembre de 1997. Pero, por un largo proceso de ratificación entró en vigor en 2005. Forman parte de él, 192 naciones.

El protocolo de Kioto permite poner en funcionamiento la UNFCCC, dando a los países, principalmente industrializados, la responsabilidad de reducir sus emisiones en un principio a márgenes de 1990. Dentro de las responsabilidades se indica la necesidad de remitir la información de cada país a la convención [15].

En 2012 en Doha, se aprobó la enmienda de Doha en la cual se inicia una segunda etapa de compromiso, la cual se planeaba debía entrar en vigor en 2013 y finalizar en 2020, sin embargo, hasta la actualidad (2021), no ha iniciado [16].

1.4.3 Energía termoeléctrica

La generación de energía eléctrica a partir de la energía térmica como fuente se denomina energía termoeléctrica. Las centrales térmicas llevan a cabo la generación de energía eléctrica a partir de la ignición de combustibles como biomasa, carbón, gas natural y derivados del petróleo [17], [18].

El proceso de generación termoeléctrica inicia con el calentamiento de vapor de agua en la caldera, el mismo que al alcanzar las condiciones de temperatura, presión y otras características químicas pasa a la turbina, la cual se encuentra enlazada al generador eléctrico convirtiendo la energía mecánica de rotación en electricidad [17]. El elemento básico de la turbina es el rotor que cuenta con palas, hélices o cuchillas, las cuales están dispuestas alrededor de su diámetro de tal manera que el fluido en movimiento genera una fuerza tangencial que impulsa las palas para mover el rotor. Esta energía se transfiere a través de un eje para producir movimiento en un generador eléctrico.

Todo proceso de generación termoeléctrica desencadena una serie de impactos ambientales, los más dañinos son las emisiones debido a la quema de combustibles fósiles [17].

Los combustibles más utilizados en las centrales de generación termoeléctrica son:

- a. Carbón

El carbón es el combustible fósil más común para la generación de energía eléctrica. Se trata de material vegetal fosilizado que se preserva enterrado en sedimentos y es modificado por las fuerzas geológicas que lo compactan y condensan en forma de roca con un alto contenido de carbono [19].

b. Fuel oil

El fuel oil o también llamado combustóleo es el combustible líquido más utilizado para calefacción de hornos y calderas, es el aceite combustible residual derivado de la destilación de crudo de petróleo [19].

c. Diésel

El diésel es obtenido en las refinerías a partir de la destilación del petróleo, el cual es separado en diferentes fracciones de acuerdo con su temperatura de ebullición y peso molecular [20].

d. Gasolina

La gasolina es un combustible líquido derivado del petróleo, es más volátil que el diésel por lo que permite una mejor formación de mezcla para la combustión y así tener menor cantidad de residuos [21].

e. Biomasa

La materia orgánica derivada de los seres vivos se nombra biomasa. La energía de la biomasa se la ha considerado como una energía renovable por su contenido de biocombustibles líquidos y gaseosos [22].

La combustión de biomasa se la considera como de emisiones neutras, debido a la emisión de CO₂, el cual es absorbido por las plantas en la fotosíntesis.

f. Gas licuado de petróleo

Es una mezcla de hidrocarburos, generalmente de butano y propano, y otros en menor proporción. Se lo consigue de la destilación del petróleo y de fuentes de gas natural en pozos de extracción [23].

g. Gas natural

El gas natural es una mezcla de gases formados hace millones de años, por las condiciones ambientales a las que estaban sometidos. El gas natural está compuesto en mayor proporción con metano con más de tres cuartos del total, además tiene gases como el butano, propano, etano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de nitrógeno, helio y argón [24], [25].

1.4.3.1 Generación mediante unidades de vapor

La turbina de vapor es un instrumento rotativo que movida por vapor produce energía cinética. El vapor ingresa a la turbina a altas presiones y se expande a través de ella, transformando una parte de su entalpía en energía mecánica [26]. El principio fundamental de este tipo de centrales se basa en utilizar la energía térmica liberada por el vapor de agua producido en una caldera, para mover una turbina y producir energía eléctrica [21].

1.4.3.2 Generación mediante turbinas a gas

La turbina de vapor es un elemento térmico - mecánico de rotación que es movido por una mezcla de aire y moléculas químicas exhalados de la ignición de un combustible, esta mezcla tiene alta temperatura y presión [27], [28]. El gas en condiciones de alta presión y temperatura hace posible el movimiento de la turbina, la misma que se encuentra unida a una máquina sincrónica (generador eléctrico).

1.4.3.3 Generación mediante unidades de ciclo combinado

La generación de energía eléctrica por medio del ciclo combinado hace referencia a la coexistencia de dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema, el primer ciclo utilizando vapor de agua y el segundo utilizando gas producto de una combustión [29]. El ciclo combinado es el proceso por el cual se calienta el vapor que sale de una turbina y luego mezclar aire del ambiente a gran presión con los residuos del combustible quemado de manera que se aproveche la energía térmica de manera más eficiente. La combinación de procesos térmicos se considera como la solución más eficaz para lograr un aprovechamiento de energía [30]. Un ciclo combinado puede mejorar la eficiencia energética y la producción de energía eléctrica a más del doble que una generación por un ciclo simple de gas o vapor [31].

1.4.3.4 Generación mediante motores de combustión interna (MCI)

El motor de combustión interna es una máquina que obtiene energía mecánica a través de la transformación de energía química que contiene un combustible que al quemarse genera

energía térmica y movimiento [32], [33]. Los motores de combustión interna cumplen el ciclo de Otto o el ciclo de Diesel como se muestra en la figura 4 y figura 5. En estos ciclos se tiene las siguientes etapas: admisión, compresión, combustión, expansión, enfriamiento y escape.

La diferencia entre el ciclo de diésel y el ciclo de Otto es la manera en cómo se realiza la combustión. En el ciclo de Otto se requiere una chispa para encender la mezcla aire-combustible, el cual de manera ideal se lo realiza a volumen constante, mientras que en el ciclo de diésel la combustión se da por el aumento temperatura debido a la compresión de la mezcla.

Clasificación de los MCI según el combustible

a. Motores a gasolina

Son motores que funcionan por la ignición de una mezcla aire-gasolina. En las cámaras de combustión se produce una chispa por una bujía, que enciende la mezcla comprimida por un pistón, al encenderse la mezcla se expande empujando al pistón a un cigüeñal y su eje [32], [34].

b. Motores a diésel

Un motor a diésel tiene un principio similar al motor a gasolina, con la diferencia que el encendido del combustible se debe a la alta temperatura por la compresión del aire en la cámara [32], [34].

c. Motores a gas

El gas natural, el biogás y el GLP son hidrocarburos que se utilizan de manera similar a la gasolina, pero que son mucho más ecológicos por emitir menor cantidad de NO_x [32], [34].

d. Motores a Hidrógeno

Motores que funcionan de manera similar a la gasolina con la diferencia que no emiten contaminación al ambiente ya que no emite compuestos por residuos de carbono o nitrógeno [32].

1.4.4 Cálculo del factor de emisión de un sistema eléctrico

Un factor de emisión es la relación entre una cantidad de masa de un compuesto emitida por cada unidad producida de cierta actividad [35].

Para un sistema eléctrico el factor de emisión es un coeficiente que relaciona la cantidad de masa del dióxido de carbono por cada unidad de energía eléctrica entregada a través una planta o unidad generadora de electricidad. Un sistema eléctrico que emite dióxido de carbono se debe a que requiere de quemar algún combustible, por lo que se requiere conocer el factor de emisión de CO₂ del combustible.

El factor de emisión del combustible depende principalmente del contenido de carbono presente en el combustible. La combustión eficiente de un combustible asegura la oxidación de la máxima cantidad de carbono disponible en el combustible. En nuestro país para el cálculo se utiliza la tabla 1.4 de Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. En la tabla 1 se aprecian los mínimos factores de emisión de los combustibles utilizados en el Ecuador para generar electricidad.

Tabla 1. Factor de emisión mínimo de combustibles [4].

Combustible	FE (kg CO₂/TJ)
Fuel Oil	75500
Diesel	72600
Nafta	69300
Gas Natural	54300
Biodiesel	59800
Crudo de petróleo	71100

FUENTE: Guidelines 2006 IPCC

Las convenciones y las organizaciones del cambio climático tienen como objetivo mitigar las emisiones de GEI en las centrales de energía eléctrica, en 2008 se emitió la primera

versión de una herramienta de cálculo del factor de emisión de dióxido de carbono (tool 07). En la última versión se detalla de mejor manera el método que se debe usar según el tipo de sistema que se vaya a analizar, a través de los diagramas de flujo y mapas conceptuales que se incluyen, además de incluir anexos que contienen datos que se pueden utilizar como predeterminados en caso de no poseer información.

La herramienta metodológica es utilizada por los países que han firmado el convenio, el factor de emisión es necesario darlo a conocer para que se pueda implementar proyectos que cambien las tecnologías contaminantes por nuevas que cumplan la misma función, pudiendo crear MDLs propuestas por las naciones industrializadas en países no desarrollados como el nuestro.

1.4.4.1 Herramienta para calcular el factor de emisión de un sistema eléctrico (Tool 07)

La herramienta (Tool 07), permite realizar el cálculo del factor de emisión de un sistema eléctrico, ya sea este aislado como los sistemas petroleros; interconectado como el sistema de un país; o integrado por ambos. Con la herramienta podemos encontrar los factores de emisión de margen de operación (OM), margen de construcción (BM) y margen combinado (CM).

Margen de Operación (OM)

Margen de Operación (OM por sus siglas en inglés), es el factor de emisión de un grupo de plantas de generación de energía eléctrica existente, cuya generación de electricidad se vería afectada por la actividad de un proyecto MDL [1]. El Margen de operación (OM) depende de la producción de energía eléctrica de cada central de generación y la cantidad de combustible quemado para realizar la tarea.

El OM que se obtenga va a depender del nivel de producción de las unidades térmicas y del nivel de emisión de CO₂ establecidas para cada unidad del sistema eléctrico por medio de los factores de emisión de cada tipo de combustible [1], [36].

El margen de operación se puede calcular dependiendo de los datos de los despachos de energía que se tengan. El margen de operación puede ser:

- Margen de Operación Simple
- Margen de Operación Simple ajustado

- Margen de Operación Promedio
- Margen de Operación por datos de despacho.

En el siguiente diagrama de flujo se observa cómo se debe realizar la selección del cálculo.

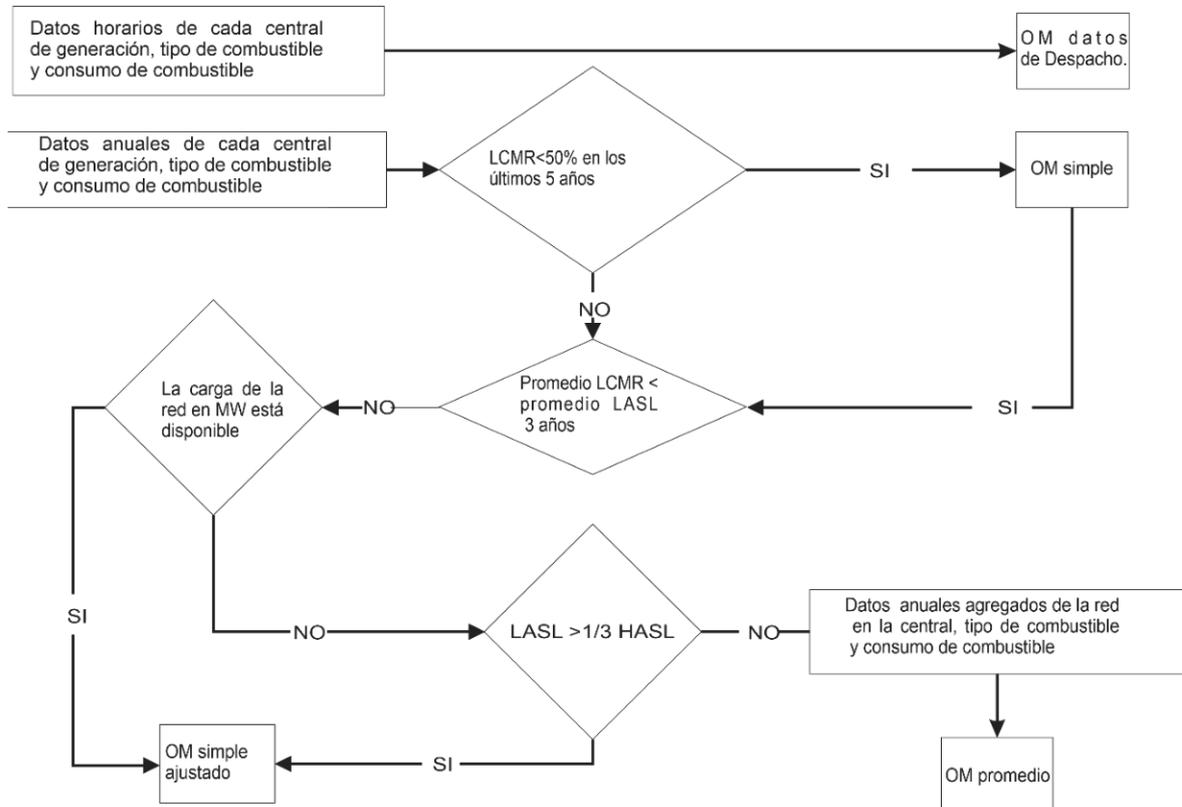


Figura 1. Diagrama de flujo para selección del método OM [1].

Margen de Construcción (BM)

El margen de construcción (BM) es el factor de emisión que refleja las emisiones de eventuales futuras centrales (tendencia de expansión del sistema eléctrico) los cuales podrían ser cambiados por MDLs [37]. El margen de construcción indica las emisiones de CO₂ por el ingreso de nuevas unidades de generación en los últimos 10 años y, además, que represente el 20% de la demanda anual que se analiza. Se debe calcular anualmente, por el ingreso de nuevas centrales que ingresan a la red [36].

Margen combinado (CM)

Margen Combinado (CM por sus siglas en inglés) es la ponderación del cálculo del margen de construcción y operación [1]. Este factor se lo calcula para dar una línea base a un proyecto de energía limpia o un MDL. El cálculo se lo realiza dando porcentajes al margen de operación y construcción, que sumados no superen el 100%.

Para el cálculo del factor de emisión es necesario tener cierto tipo de datos. En la tabla 2 se muestra los datos que se requieren para el cálculo del factor de emisión.

Tabla 2. Opciones de cálculo de los diferentes factores de emisión [1].

	OM Datos de despacho	OM Simple ajustado	OM Simple	OM promedio	BM
Requisitos de datos en las opciones respectivas					
Generación de energía por planta Opción A1 prescrita en el OM simple		✓	✓		✓
Generación de energía agregada Opción B prescrita bajo el OM simple			✓	✓	
Consumo de combustible por planta Opción A1 prescrita en el OM simple		✓	✓		✓
Tipo de combustible y tecnología Opción A2 prescrita en el OM simple		✓	✓		✓
Consumo de combustible agregado Opción B prescrita bajo el OM simple			✓	✓	
Generación de energía por hora y consumo de combustible por planta	✓				
Carga horaria de la red		✓			
Fecha de puesta en servicio de plantas / unidades de energía					✓

1.4.5 Herramienta para cálculo de eficiencia del sistema de generación de energía (Tool 09)

La herramienta describe procesos para establecer la eficiencia de un sistema de generación de energía térmica o eléctrica, con el propósito de estimar las emisiones contaminantes. Al estimar las emisiones se puede plantear el cambio parcial o total de sistemas que sean poco eficientes, con lo que se logrará un sistema más eficiente y menos contaminante.

Se puede usar una de las siguientes opciones para estimar la eficiencia del sistema de generación de energía:

a) Utilizar la función de eficiencia de carga del fabricante

Esta opción suele ser conservadora porque la eficiencia real del sistema de generación de energía suele ser menor que la eficiencia en el momento de la instalación, debido al envejecimiento y deterioro del sistema.

La opción se puede utilizar si:

- El fabricante proporciona funciones de eficiencia de carga o curvas de rendimiento.
- Si las funciones o cargas muestran la eficiencia del sistema en todas las cargas aplicables.
- Las funciones y curvas son consistentes con las características del equipo.
- Si no se realizó ninguna modificación.

b) En función de eficiencia de carga basada en mediciones y un análisis de regresión

Las pruebas de eficiencia se realizarán siguiendo las pautas de las normas nacionales e internacionales. Los ensayos para determinar la eficiencia se realizarán para todo el sistema, incluidos los equipos auxiliares. Sobre los datos recopilados la función de eficiencia de carga se establecerá mediante un análisis de regresión, la cual se ajustará a la incertidumbre de manera conservadora.

c) En función de eficiencia basada en datos históricos y un análisis de regresión

Se puede utilizar para determinar una función de eficiencia de carga o una eficiencia constante. Esta opción es aplicable si no se realizó ninguna modificación durante el periodo para el que se utilizan datos históricos que pudieran aumentar la eficiencia del sistema de generación de energía.

d) Valores de eficiencia del fabricante

Puede utilizarse como un enfoque conservador si cumple las siguientes condiciones:

- Si el fabricante proporciona solo la eficiencia máxima en las condiciones óptimas de funcionamiento.
- No se realizó modificaciones que pudieran haber aumentado la eficiencia del sistema energético.

e) En función de las mediciones y utilice un valor conservador

La eficiencia se medirá en base a las pruebas de desempeño de acuerdo con los estándares nacionales e internacionales. Todas las pruebas de eficiencia se llevarán a cabo durante un mismo intervalo de tiempo. Las pruebas se realizarán para todo el sistema incluidos los equipos auxiliares.

f) Utilizar un valor predeterminado

Para determinar una eficiencia constante se pueden utilizar los valores predeterminados del apéndice "Factores de eficiencia predeterminados", de la tool 09. En la tabla 3 se muestra valores predeterminados para centrales con capacidad mayor a 1MW.

Tabla 3. Eficiencia predeterminada para centrales térmicas.

Tecnología de generación	Año de puesta en servicio		
	y<2000	2000 <y<2012	y> 2012
Carbón			
Subcrítico	37%	39%	39%
Supercrítico	-	45%	45%
Ultra-supercrítico	-	50%	50%
IGCC	-	50%	50%
pensión completa	35,5%	-	-

Tecnología de generación	Año de puesta en servicio		
	y<2000	2000 <y<2012	y> 2012
CFB2	36,5%	40%	43%
PFB	-	41,5%	45%
Gas natural			
Motor de gas recíproco	33%	40%	48%
Turbina de gas de ciclo abierto	30%	39%	44%
Turbina da gas de ciclo combinado	46%	60%	62%
Compuestos de petróleo			
Turbina de vapor	37,5%	39%	44%
Motor recíproco	33%	40%	48%
Biomosas			
IGCC	42%		
Otro	35%		
Cogeneración			
Turbina de vapor	83%		
Turbina de gas	83%		
Motor recíproco	89%		
Microturbina (hasta 500kW)	78%		

1.4.6 Cálculo de Factor de emisión de Centrales ($EF_{EL,m,y}$)

El factor de emisión nos permite estimar las emisiones de cada central al generar una cantidad de energía eléctrica neta. Es necesario obtenerlo para realizar el cálculo de factor de emisión del sistema eléctrico, ya sea de margen operativo, de construcción o el combinado.

El cálculo de factor de emisión de una central de generación eléctrica se la puede determinar a partir de las ecuaciones planteadas en la herramienta metodológica 07, y se la puede determinar de la siguiente manera:

- a. Si se dispone de datos sobre el consumo de combustible y la generación de electricidad.

$$EF_{EL,m,y} = \frac{\sum_i FC_{i,m,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO2,i,y}}{EG_{m,y}}$$

Ecuación 1. Factor de emisión en base al consumo de combustibles

Donde:

$EF_{EL,m,y}$ Factor de emisión de CO2 de la unidad de potencia m en el año y (t CO2/MWh).

$FC_{i,m,y}$ Cantidad de combustible consumido por unidad de potencia m en el año y (Unidad de masa o volumen)

$NCV_{i,y}$ Valor calorífico neto del tipo de combustible i en el año y (GJ/unidad de masa o volumen) [4]

$EF_{CO2,i,y}$ Factor de emisión de CO2 del tipo de combustible i en el año y

$EG_{m,y}$ Cantidad neta de electricidad generada y entregada a la red por unidad de potencia m en el año y (MWh)

i Tipo de combustible utilizado

m Tecnología utilizada (MCI)

y Año de los datos

- b. A partir de datos sobre la generación de electricidad y los tipos de combustibles utilizados

$$EF_{EL,m,y} = \frac{EF_{CO2,i,y} \times 3.6}{\eta_{m,y}}$$

Ecuación 2. Factor de emisión en base al tipo de combustible

Donde:

$EF_{EL,m,y}$ Factor de emisión de CO₂ de la unidad de potencia m en el año y (t CO₂/MWh).

$EF_{CO_2,i,y}$ Factor de emisión de CO₂ promedio del tipo de combustible i utilizado en la unidad de potencia m en el año y (t CO₂/GJ)

$\eta_{m,y}$ Eficiencia de conversión de energía neta promedio de la unidad de potencia m en el año y (proporción)

3.6 Factor de conversión (GJ/MWh)

i Tipo de combustible utilizado

m Tecnología de la central

y Año

Cuando se utilicen varios tipos de combustible en la unidad de potencia, utilice el tipo de combustible con el factor de emisión de CO₂ más bajo.

Si por unidad de potencia m solo se dispone de datos sobre la generación de electricidad, un factor de emisión de 0 t CO₂/MWh se puede asumir como un enfoque simple y conservador.

1.5 Panorama del sector eléctrico ecuatoriano

Al año 2020 en el país funcionan 187 centrales termoeléctricas, la mayoría en sistemas aislados que sirven para la extracción de petróleo, mientras que las demás están conectadas al SNI. De las centrales que se encuentran conectadas al SNI se dividen en centrales de generación, distribución y autogeneración. Al SNI se encuentran conectadas 41 centrales térmicas, de las cuales 27 centrales generan electricidad a partir de motores de combustión interna, en esta clasificación están 23 centrales generadoras, 3 distribuidoras y una autogeneradora.

En la tabla 4 se muestra las centrales de motores de combustión interna conectadas al SNI, con la potencia nominal y efectiva de generación.

Tabla 4. Centrales de MCI dentro del S. N. I.

Central	Tipo	Ubicación	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Jaramijó	Generadora	Jaramijó	140.00	128.88
Esmeraldas II	Generadora	Esmeraldas	100.20	84.00
Quevedo II	Generadora	Quevedo	95.20	81.00
Santa Elena II	Generadora	Santa Elena	90.10	65.03
Guangopolo 2	Generadora	Distrito Metropolitano de Quito	52.20	48.00
Jivino III	Generadora	Shushufindi	44.00	42.00
Santa Elena III	Generadora	Santa Elena	41.70	40.00
Miraflores	Generadora	Manta	49.80	39.40
Generoca	Generadora	Guayaquil	38.12	34.40
Gualberto Hernández	Distribuidora	Distrito Metropolitano de Quito	34.32	31.20
Selva Alegre	Autogeneradora	Otavalo	29.28	24.30
Guangopolo	Generadora	Distrito Metropolitano de Quito	22.50	21.80
Manta II	Generadora	Manta	20.40	17.34
El Descanso	Generadora	Azogues	19.20	17.20
Catamayo	Distribuidora	Catamayo	19.74	17.17
Jivino II	Generadora	Shushufindi	11.00	10.00
La Propicia	Generadora	Esmeraldas	10.50	8.50
Celso Castellanos	Generadora	Lago Agrio	10.00	7.20

Central	Tipo	Ubicación	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
El Inga	Generadora	Distrito Metropolitano de Quito	6.20	5.50
Jivino I	Generadora	Shushufindi	7.50	5.40
Macas	Generadora	Morona	4.50	4.00
Pedernales	Generadora	Pedernales	5.00	3.90
Lligua	Distribuidora	Ambato	5.00	3.60
Payamino	Generadora	Orellana	2.50	1.80
Loreto	Generadora	Loreto	2.25	1.80
Dayuma	Generadora	Orellana	2.25	1.80
Pichacay	Generadora	Cuenca	1.06	1.00

FUENTE: ARCERNNR

Se observa que las centrales con mayor capacidad son las centrales Jaramijó, Esmeraldas II, Quevedo II y Santa Elena II, todas estas ubicadas en la región litoral. Mientras que, la mayoría de las centrales con menor capacidad de generación están ubicadas en la región amazónica. Entre las centrales que funcionan a base de MCI, se encuentran las centrales de biogás, que son las de Pichacay y la de El Inga.

1.5.1 Generación de energía en el año 2020

En el año 2020 Ecuador generó un total de 26'990.1 GWh de energía bruta [36], de la cual el 8.8% representa a la generación térmica con combustibles fósiles y 0.16% a centrales térmicas de biogás. Los motores de combustión interna es la tecnología más utilizada en la generación termoeléctrica, en 2020 generó el 32 % de la energía térmica no renovable [38].

En la figura 3 se muestra un diagrama con los porcentajes de generación bruta del año 2020 en el país.

Porcentaje energía bruta generada 2020

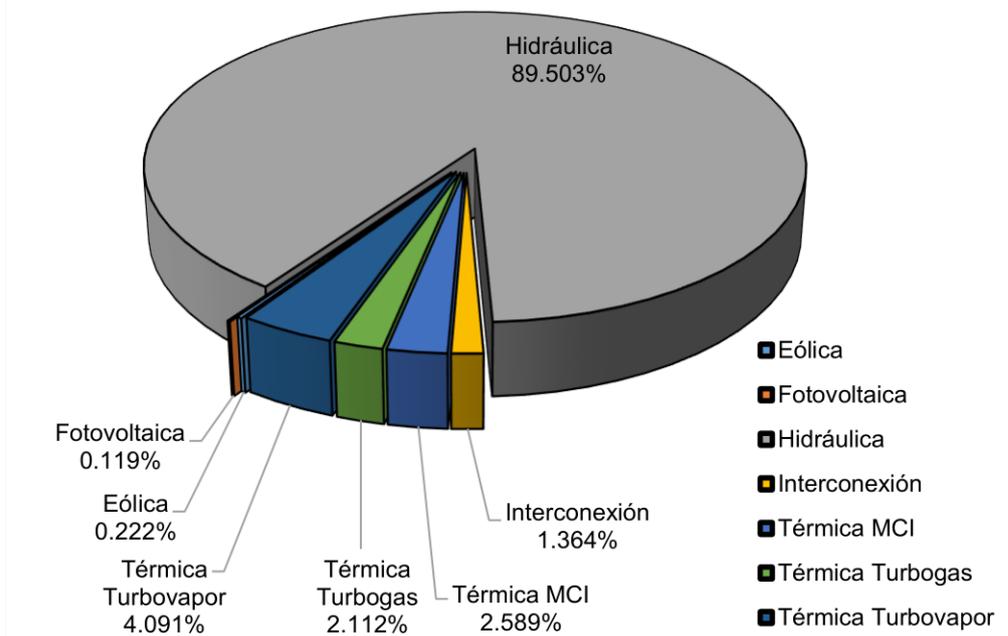


Figura 2. Energía bruta Generada [Datos SISDAT].

2 METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología aplicada para el cálculo del factor de emisión de las centrales de generación basadas en motores de combustión que actualmente están operativas en el SNI. Se comparan dos métodos distintos de cálculo y se desarrolla un aplicativo para el cálculo de este factor en la App designer de Matlab.

La metodología para el cálculo toma como base las herramientas metodológicas dadas por la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático: *Tool 07 Herramienta Metodológica Cálculo del Factor de Emisión de Sistemas Eléctricos* y *Tool 09 Herramienta Metodológica Determinación de la eficiencia de línea base de Sistemas Térmicos o de Generación Eléctrica*, la cual se describe en la Figura 2.

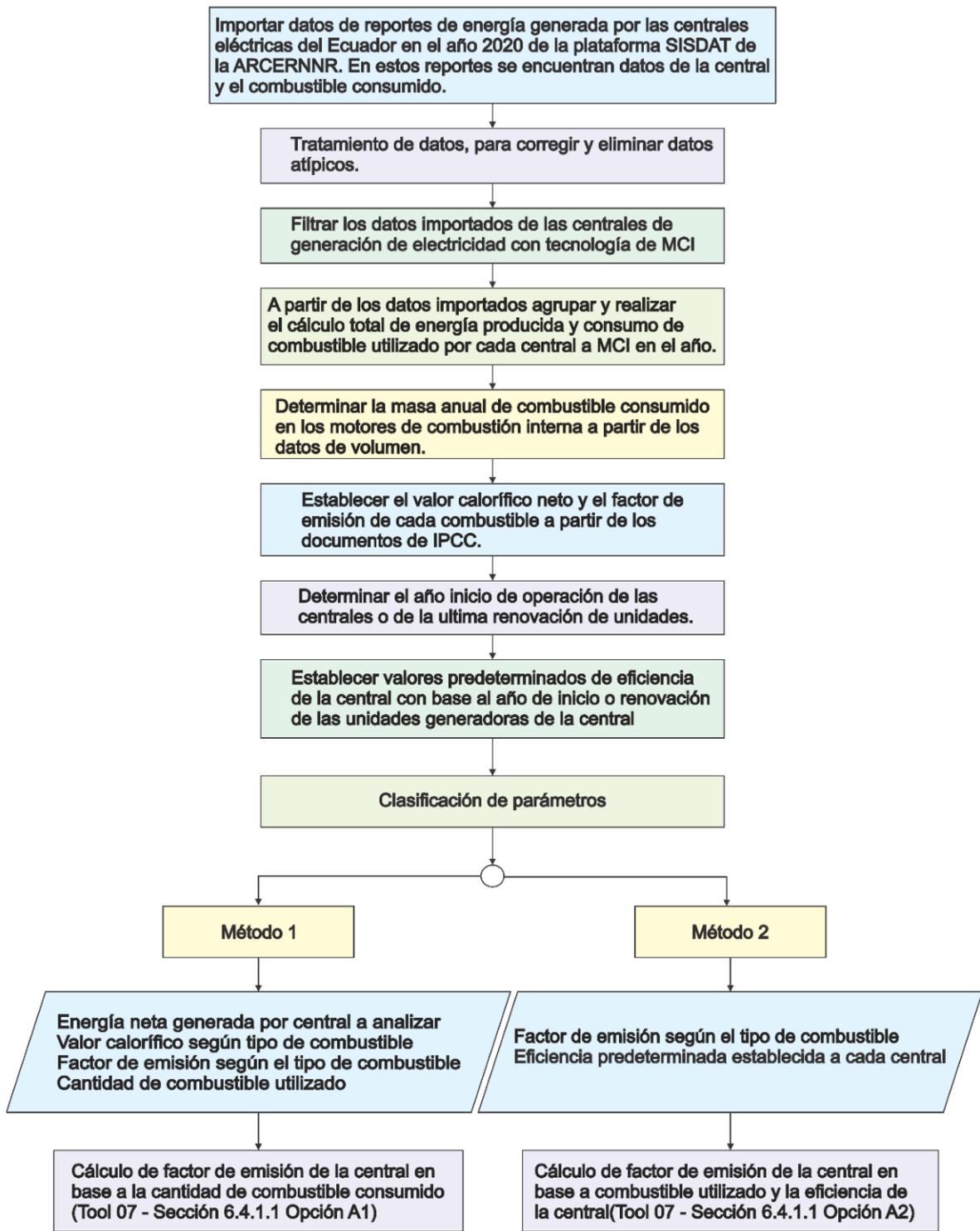


Figura 3. Diagrama de flujo para el cálculo del factor de emisión.

Las ecuaciones de cálculo establecidas por la Tool 07 se presentan en la sección 1.5 a. Tal como fue descrito, la Ecuación 1 es aplicable cuando se dispone de datos de generación de electricidad, consumo y tipo de combustible utilizado por cada central,

mientras que la Ecuación 2 de la sección 1.5 b. se aplica cuando únicamente se conoce el tipo de combustible utilizado y la eficiencia de la central.

Como datos de entrada para los cálculos se toman los reportes de la energía producida en el año 2020 que se registran en el SISDAT de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos No Renovables (ARCERNNR); en tales reportes consta información de la generación mensual de cada una de las unidades de generación de las centrales del país conectadas y no conectadas al SNI.

Antes del uso de la información descrita, se realiza un adecuado tratamiento de datos, con base a lo descrito en la sección 2.1 del presente capítulo. El tratamiento de datos busca realizar análisis previo de los datos a través de relaciones adecuadas que permiten discriminar, corregir o eliminar datos que no cumplan parámetros consistentes con relación a la muestra total de datos. Los datos en cuestión también deben ser ordenados ya que se encuentra ingresados de manera indistinta.

Una vez realizado el tratamiento de datos, la información se filtra a través de tablas dinámicas en Excel, las que permiten obtener de manera práctica los datos necesarios. En la tabla dinámica, se aplica filtros para obtener solamente los datos de las centrales eléctricas térmicas de MCI, que se encuentran conectadas al SNI. Se toma la información solo de las centrales del sistema de generación conectada al SNI, a excepción de las centrales de distribución Lligua y Loreto las cuales no presentan generación en el año 2020. La información que se utiliza está relacionada con el tipo y cantidad de combustible consumido en el año y la energía anual neta generada por cada central.

El volumen del combustible se lo debe transformar a unidades de masa, considerando la densidad de cada combustible. Luego de realizar el tratamiento de los datos se requiere establecer los valores del factor de emisión y valor calorífico neto de cada combustible. Las centrales del país que generan por medio de MCI operan con diésel, fuel oil, biogás, crudo y residuo. Además, se establece la eficiencia predeterminada de cada central, conforme lo establecido por la Tool 09; los datos que se utilizan para el efecto son los de la tabla 2 del apéndice, la cual clasifica los valores de eficiencia de las centrales según el año y la tecnología de generación. Se establece la eficiencia predeterminada de las centrales analizadas en base al año de puesta en servicio de cada central; y en el caso de modificaciones de las centrales, se considera el año de puesta en servicio de las nuevas unidades.

Una vez que se dispone de todos los parámetros de entrada descritos en la metodología, se realiza el cálculo del factor de emisión de cada central por los 2 métodos descritos previamente.

2.1 Análisis de parámetros para el cálculo del factor de emisión

A continuación, se analizan los parámetros usados para los cálculos:

2.1.1 Tratamiento de datos

A los datos del consumo de 2020 descargados del SISDAT del ARCERNNR, se les realiza el tratamiento respectivo con el fin de discriminar información errónea y corregir o eliminar valores atípicos que hayan sido ingresados por errores de digitación o de cualquier tipo.

El tratamiento de datos se realiza con el reconocimiento de datos disponibles. El documento descargado contiene información de: Nombre e id del mes de datos de la generación de la unidad; el nombre e id de la empresa o unidad de negocio a cargo de la central; el nombre e id de la central de generación; la unidad de generación; el tipo y subtipo de central; el tipo de servicio: público o no público; el detalle si el sistema se encuentra o no conectado al SNI; la cantidad de energía generada bruta, servicios auxiliares y neta; el consumo volumétrico de los combustibles de cada unidad en galones, kilo pies cúbicos o mili pies cúbicos de: diésel, crudo, residuo, fuel oíl, biogás, nafta, LPG, bagazo; observaciones mensuales de la unidad; la energía entregada al sector público; y la energía entregada al sector no público.

Se eliminan columnas de información que no se involucran en los cálculos. Las columnas eliminadas son: el tipo de servicio, columnas de combustibles que no son utilizados por los motores de combustión interna (nafta, LPG, bagazo, gas natural), la energía entregada al sector público y sector no público.

Luego, se procede a inspeccionar los datos de las centrales térmicas, central por central se hace una depuración de datos. La depuración de datos se realiza por comparaciones realizadas por medio de ecuaciones en Excel. Las comparaciones nos permiten distinguir, corregir y discriminar datos.

Los datos descargados hay valores atípicos. Se encontró datos en los cuales no existe generación, pero existe consumo de combustible y viceversa, para encontrar estos datos se creó una tabla con la generación neta y la suma de consumo combustibles, aquí se eliminarán datos donde la generación y el consumo sean nulos. De manera similar se

discriminarán datos en donde exista generación y no exista combustible o viceversa. Se muestra como ejemplo la central Celso Castellano en la tabla 5.

Tabla 5 Discriminación de datos Central Celso Castellano.

Mes	Id Mes	Empresa	Central	Unidad	Energía Neta	Combustible
Ene	1	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U1	47.77	1889.89
Ene	1	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U2	48.59	1926.43
Ene	1	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U3	36.56	1467.49
Ene	1	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U4	52.01	2062.10
Feb	2	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U1	0	0
Feb	2	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U2	0	0
Feb	2	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U3	0	0
Feb	2	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U4	0	0
Mar	3	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U1	0	0
Mar	3	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U2	0	0
Mar	3	CELEC-Termo pichincha	Celso Castellanos	U3	0	0

En la tabla se observa que las centrales la generación o consumo nulo se pintan con color rosa para luego eliminarlas. Se realiza el filtro y se eliminan los datos que tienen consumos nulos.

Ahora se aplica una relación combustible sobre energía neta, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Relaciones Combustible vs energía Central Celso Castellano

Id Mes	Central	Unidad	Energía Neta (MWh)	Diesel2 (gal)	Fuel Oil/EN	Diesel2/EN
1	Celso Castellanos	U1	23.63	1889.89	79.11	79.99
1	Celso Castellanos	U2	24.03	1926.44	79.28	80.16
1	Celso Castellanos	U3	18.08	1467.49	80.27	81.17
1	Celso Castellanos	U4	25.72	2062.10	79.30	80.18
5	Celso Castellanos	U1	43.63	3403.44	78.01	78.01
5	Celso Castellanos	U2	41.05	3199.56	77.95	77.95
5	Celso Castellanos	U4	40.75	3179.64	78.03	78.03
10	Celso Castellanos	U1	10.37	882.57	85.15	85.15
10	Celso Castellanos	U2	9.74	829.56	85.15	85.15
10	Celso Castellanos	U3	10.68	909.05	85.15	85.15
10	Celso Castellanos	U4	10.50	893.82	85.15	85.15

En la tabla 6. se muestra datos de la central Celso Castellano donde se observa la relación de cantidad de combustible por unidad de energía eléctrica generada. Los valores de la relación para el fuel oil y el diésel en esta central oscilan entre 75 y 90 galones por MWh generado.

En el caso de la central Celso Castellano los valores cumplen un patrón lo que indica que los datos no fueron ingresados de manera errónea. De la misma forma se aplican relaciones a las demás centrales y los datos que tienen valores que no cumplen un patrón se los elimina para que los resultados mostrados no sufran variaciones que causen inconsistencias.

Las centrales de generación a base de Fuel Oil. Crudo y Residuo. combustibles de alta densidad. requieren de diésel para arrancar. limpiar y apagar las unidades de generación. Lo cual hace que en ocasiones las centrales utilicen más diésel y menos combustible de alta densidad. por lo que la relación de combustibles aumenta para un combustible y disminuye en el otro.

Luego de depurar los datos se realiza el cálculo total de energía generada y consumo de combustible anual de toda la central. Con el tratamiento los datos quedan listos para ser utilizados en los cálculos.

2.1.2 Datos de consumo de combustible

En la tabla 7 se muestra la potencia efectiva. tipo y consumo de combustible utilizado durante el año 2020 por las centrales de generación basadas en motores de combustión interna.

Tabla 7. Consumo de combustibles de las centrales basadas en MCI correspondiente al año 2020

Central	Potencia Efectiva (MW)	FUELOIL (gal)	Diesel 2 (gal)	Biogás (mpc)*	Crudo (gal)	Residuo (gal)
Jaramijó	128.88	13280246.50	481198.00	0	0	0
Esmeraldas II	84.00	4922850.54	326048.17	0	0	0
Quevedo II	81.00	0	75429.00	0	531383.00	0
Santa Elena II	65.03	5750840.81	391585.44	0	0	0
Guangopolo2	48.00	0	376338.68	0	1524423.00	0
Jivino III	42.00	0	237645.24	0	1324725.36	0

Central	Potencia Efectiva (MW)	FUELOIL (gal)	Diesel 2 (gal)	Biogás (mpc)*	Crudo (gal)	Residuo (gal)
Santa Elena III	40.00	1259681.37	536305.41	0	0	0
Miraflores	39.40	0	147365.00	0	0	0
Generoca	34.40	0	95168.34	0	0	861399.16
G. Hernández	31.20	1364692.21	52974.64	0	0	0
Selva Alegre	24.30	0	424908.99	0	0	8314021.89
Guangopolo	21.80	0	123573.40	0	333694.00	0
Manta II	17.34	4468914.60	108551.95	0	0	0
El Descanso	17.20	0	79810.66	0	0	413666.06
Catamayo	17.17	0	6738.52	0	0	0
Jivino II	10.00	0	28937.21	0	0	0
La Propicia	8.50	36167.90	16819.56	0	0	0
Celso Castellanos	7.20	0	20643.56	0	0	0
El Inga	5.50	0	0	24053467.47	0	0
Jivino I	5.40	0	5513.11	0	0	0
Macas	4.00	0	7263.00	0	0	0
Pedernales	3.90	0	13285.00	0	0	0
Dayuma	1.80	0	52193.00	0	0	0
Payamino	1.80	0	831.00	0	0	0
Pichacay	1.00	0	0	2671526.68	0	0

* mpc: mili pies cúbicos

Fuente: ARCERNNR

En la tabla 7 se presenta las centrales de generación térmica con motores de combustión interna simultáneamente con la potencia efectiva y la cantidad y tipo de combustible consumido por cada central. Los datos muestran que las centrales con mayor capacidad de generar energía son las que más combustible utilizan. Las centrales con mayor potencia efectiva son las centrales Jaramijó. la cual anualmente consume 13 millones de galones de fuel oíl y alrededor de 480 mil galones de diésel. Las centrales cuyos MCI funcionan a base de gas presentan unidades de mili pies cúbicos (mpc) y kilo pies cúbicos (kpc).

2.1.2.1 Cálculo de la masa de los combustibles

La ecuación 1 requiere para el cálculo que el combustible esté en unidades de masa (Gg). Como el consumo de combustible líquido está en galones. se lo debe convertir a metros cúbicos por medio de la conversión de unidades. De igual manera el volumen del biogás que se encuentran en mili pies cúbicos (mpc). se transforma a metros cúbicos. Al tener los datos de consumo de combustible en unidades de volumen requerido (metros cúbicos) se transforma a kilogramos con los datos de densidad del combustible.

La ecuación 3 muestra el cambio que se realiza para obtener el combustible en unidades de masa.

$$m = \rho \times v$$

Ecuación 3. Ecuación de densidad

Donde:

- m Masa del combustible en kg
- ρ Densidad del combustible en kg/m^3
- v Volumen en m^3

En la tabla 8 se presenta la densidad de los diferentes tipos de combustibles empleados para la generación de electricidad mediante motores de combustión interna.

Tabla 8. Densidad de los combustibles[39] .

Densidad (kg/m^3)	
Fuel oíl	875

Residuos	960
Crudo	450
Biogás	0.97
Gas Natural	0.70
Diesel 2	849
Nafta	749.53

A continuación, se presenta el cálculo para la central Jaramijó, la misma que tiene la mayor potencia efectiva durante el año 2020 y tuvo un consumo de combustible de 13280246.50 galones de Fuel oíl y 481198 galones de Diesel 2. Mediante conversión de unidades se obtiene el consumo de combustible en unidades de masa.

$$Fuel\ oíl = 875 \frac{kg}{m^3} \times 13280246.50 \times 0.00378541 m^3$$

$$Fuel\ oíl = 43987280.67 kg \rightarrow 43.987280 Gg$$

$$Diesel\ 2 = 849 \frac{kg}{m^3} \times 481198 \times 0.00378541 m^3$$

$$Diesel\ 2 = 1546480.43 kg \rightarrow 1.546480 Gg$$

El cálculo se lo realiza de igual manera para todas las centrales de generación con el objetivo de contar con datos de consumo solo en unidades de masa, para poder realizar el cálculo con las ecuaciones planteadas.

En la tabla 9 se presenta las centrales de generación térmica con motores de combustión interna y su consumo de combustibles en unidades de masa.

Tabla 9. Consumo de combustibles de las centrales a base de MCI en unidades de masa.

Central	Potencia Efectiva (MW)	FUELOIL (Gg)	Diesel 2 (Gg)	Biogás (Gg)	Crudo (Gg)	Residuo (Gg)
Jaramijó	128.88	43.9873	1.5465	0	0	0

Central	Potencia Efectiva (MW)	FUELOIL (Gg)	Diesel 2 (Gg)	Biogás (Gg)	Crudo (Gg)	Residuo (Gg)
Esmeraldas II	84.00	16.3056	1.0479	0	0	0
Quevedo II	81.00	0	0.2424	0	0.9052	0
Santa Elena II	65.03	19.0481	1.2585	0	0	0
Guangopolo2	48.00	0	1.2095	0	2.5968	0
Jivino III	42.00	0	0.7637	0	2.2566	0
Santa Elena III	40.00	4.1724	1.7236	0	0	0
Miraflores	39.40	0	0.4736	0	0	0
Generoca	34.40	0	0.3059	0	0	3.1303
G. Hernández	31.20	4.5202	0.1703	0	0	0
Selva Alegre	24.30	0	1.3656	0	0	30.2131
Guangopolo	21.80	0	0.3971	0	0.5684	0
Manta II	17.34	14.8021	0.3489	0	0	0
El Descanso	17.20	0	0.2565	0	0	1.5033
Catamayo	17.17	0	0.0217	0	0	0
Jivino II	10.00	0	0.0930	0	0	0
La Propicia	8.50	0.1198	0.0541	0	0	0
Celso Castellanos	7.20	0	0.0663	0	0	0
El Inga	5.50	0	0	6.6068	0	0
Jivino I	5.40	0	0.0177	0	0	0
Macas	4.00	0	0.0233	0	0	0
Pedernales	3.90	0	0.0427	0	0	0
Dayuma	1.80	0	0.1677	0	0	0
Payamino	1.80	0	0.0027	0	0	0
Pichacay	1.00	0	0	0.7338	0	0

2.1.3 Datos de generación de energía

De los datos del SISDAT tratados se obtuvo la energía neta generada por cada central. Para el año 2020, las centrales de generación con funcionamiento a base de MCI presentan los valores de generación que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 9 Energía generada en las centrales con MCI [SISDAT].

Central	Energía Neta (MWh)
Jaramijó	224604.30
Selva Alegre	126983.04
Santa Elena II	94604.85
Esmeraldas II	85937.83
Manta II	71542.30
El Inga	38166.42
Guangopolo2	32969.51
Santa Elena III	30809.38
Jivino III	25378.54
G. Hernández	22563.57
Generoca	13262.49
Quevedo II	9756.76
El Descanso	7334.18
Guangopolo	6620.08
Pichacay	5176.27
Miraflores	1748.98

Central	Energía Neta (MWh)
La Propicia	688.77
Dayuma	521.17
Jivino II	324.55
Celso Castellanos	258.17
Pedernales	153.83
Macas	80.34
Catamayo	39.30
Jivino I	37.45
Payamino	8.16

Fuente: ARCERNNR

En la tabla 10 se muestra la generación anual de cada central. La central Jaramijó es la que mayor electricidad aportó, por lo que se estima que debe ser una central con un factor de emisión menor al promedio, o dentro de un intervalo promedio. Se observa que las centrales con mayor generación de electricidad son justamente las que mayor capacidad de potencia efectiva poseen.

2.1.4 Valor calorífico de los combustibles

El valor calorífico es la cantidad de energía que produce un combustible al quemarse completamente. En el país no se tiene información del valor calorífico neto que contiene cada combustible, por lo que los datos fueron extraídos del Guide del IPCC [4].

En la tabla 11, se presenta el valor calorífico asignado de cada combustible ocupado en las centrales, y se utiliza para el cálculo. El valor calorífico se encuentra en unidades de Tera joule (TJ) por Giga gramo.

Tabla 10 Valor calorífico de los combustibles [4]

Valor calorífico neto (TJ/Gg)	
Fuel oil	40.4

Residuos	39.7
Crudo	42.3
Biogás	50.4
Gas Natural	48
Diesel 2	43
Nafta	44.5

Los datos de la tabla 11 son utilizados para encontrar el factor de emisión anual del sistema eléctrico ecuatoriano.

2.1.5 Factor de emisión de CO₂ de los combustibles

El factor de emisión depende de la cantidad de carbono presente en los diferentes tipos de combustibles. Al igual que el valor calorífico neto, no se hallaron datos de factor de emisión de las empresas proveedoras de combustible en el país. Los datos fueron extraídos de la tabla 1.4 del capítulo 1 de las Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC 2006.

En la tabla 12 se encuentra el factor de emisión de los combustibles establecido para el cálculo del factor de emisión.

Tabla 11. Factor de emisión de CO₂ de los combustibles [4]

Factor de emisión (t CO₂/ TJ)	
Fuel oíl	77.4
Residuos	73.3
Crudo	73.3
Biogás	54.6
Gas Natural	54.4
Diesel 2	74.1
Nafta	73.3

2.1.6 Eficiencia de la central ($\eta_{m,y}$)

En el caso del segundo método, para determinar el factor de emisión, se requiere el dato de eficiencia de la central. Dentro de este contexto, en vista que no se tiene datos o estudios de la eficiencia de cada central, para los casos de estudio se toman como base las eficiencias predeterminadas en los anexos de la Tool 9, cuyo dato varía en función del año de puesta en funcionamiento de la central, o el año de la última repotenciación.

En la tabla 13 se presenta la eficiencia predeterminada en función del tipo de motor de las centrales termoeléctricas y el año en el cual entraron en servicio.

Tabla 12. Eficiencias predeterminadas para centrales térmicas [40].

Eficiencia predeterminada para centrales térmicas		
Tecnología de generación	Año (y) de puesta en servicio	η (%)
Motor de gas recíproco	y < 2000	33
	2000 < y < 2012	40
	y > 2012	48
Motor recíproco (Compuestos de petróleo)	y < 2000	33
	2000 < y < 2012	40
	y > 2012	48

Fuente: Tool 09

En la tabla 14 se detalla el tipo de combustible empleado por cada central y en base al año en el que entro en servicio se estima su eficiencia.

Tabla 13 Combustible utilizado y su eficiencia estimada según año de puesta en operación.

Central	Tipo de Combustible	Año puesto en servicio	Eficiencia Estimada (%)
Catamayo	Diesel 2	1976	33

Central	Tipo de Combustible	Año puesto en servicio	Eficiencia Estimada (%)
Celso Castellanos	Diesel 2	2014	48
Dayuma	Diesel 2	2013	48
El Descanso	Diesel 2 - Residuo	1983	33
El Inga	Biogás	2016	48
Esmeraldas II	Diesel 2 - Fuel oíl	2014	48
G. Hernández	Diesel 2 - Fuel oíl	1980	33
Generoca	Diesel 2 - Residuo	2006	40
Guangopolo	Diesel 2 - Crudo	2006	40
Guangopolo2	Diesel 2 - Crudo	2014	48
Jaramijó	Diesel 2 - Fuel oíl	2012	40
Jivino I	Diesel 2	2012	40
Jivino II	Diesel 2	2012	40
Jivino III	Diesel 2 - Crudo	2010	40
La Propicia	Diesel 2 - Fuel oíl	2007	40
Manta II	Diesel 2 - Fuel oíl	2011	40
Macas	Diesel 2	2020	48
Miraflores	Diesel 2	2009	40
Payamino	Diesel 2	2001	40
Pedernales	Diesel 2	2009	40
Pichacay	Biogás	2017	48
Quevedo II	Diesel 2 - Crudo	2011	40
Santa Elena II	Diesel 2 - Fuel oíl	2011	40
Santa Elena III	Diesel 2 - Fuel oíl	2012	40
Selva Alegre	Diesel 2 - Residuo	2001	40

* La Tool 07 señala que cuando se utilicen varios tipos de combustibles en la unidad de potencia, se utilice para el cálculo el combustible con el factor de emisión más bajo.

De la tabla 14 se deduce según el año de puesta en servicio que, de las 25 centrales de generación térmica con MCI, al ser centrales relativamente nuevas, 7 tienen una eficiencia estimada del 48%, mientras que 15 centrales poseen una eficiencia estimada de 40% y 3 centrales tiene una eficiencia estimada de 33%.

La eficiencia de referencia de las centrales de generación eléctrica en el país debería ser parecida a los valores de la tabla 13, sin embargo, no es posible realizar tal afirmación debido a que la eficiencia debería ser determinada anualmente con respecto a los valores de generación y consumo de combustible de cada central.

Los datos de eficiencia establecidos para las centrales permiten realizar los cálculos en base a la ecuación 2.

2.2 Cálculo de factor de emisión de la central con datos de generación y consumo de combustibles.

Con base en los datos obtenidos se procede al cálculo del factor de emisión por medio de la ecuación 1, descrita en la sección 1.5. Como ejemplo se presenta el cálculo para la central termoeléctrica Jaramijó, la cual genera a partir de los combustibles: Fuel oil y Diesel 2.

La central Jaramijó durante el año 2020 entregó a la red un total de 224604.30 MWh. El valor calorífico de Fuel oil y Diesel 2 es de 40.4 y 43 TJ/Gg, respectivamente; mientras que sus factores de emisión son de 77.4 t CO₂/TJ para el fuel oil y 74.1 t CO₂/TJ para el Diesel 2.

$$EF_{EL.m.2020} = \frac{43.987 \text{ Gg} \times 40.4 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}} \times 77.4 \frac{\text{t CO}_2}{\text{TJ}} + 1.546 \text{ Gg} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}} \times 74.1 \frac{\text{t CO}_2}{\text{TJ}}}{224604.30 \text{ MWh}}$$

$$EF_{EL.m.2020} = 0.63433 \frac{\text{t CO}_2}{\text{MWh}}$$

Al aplicar la ecuación 1 se obtiene el factor de emisión para cada una de las centrales termoeléctricas como se detalla en Tabla 15.

Tabla 15. Factor de emisión de las centrales generadoras con MCI para el año 2020 por el método 1.

Central	Factor de emisión (t CO₂/MWh)
Catamayo	1.7560
Celso Castellanos	0.8188
Dayuma	1.0255
El Descanso	0.7079
El Inga	0.4764
Esmeraldas II	0.6322
G. Hernández	0.6505
Generoca	0.7603
Guangopolo	0.4574
Guangopolo2	0.3611
Jaramijó	0.6343
Jivino I	1.5075
Jivino II	0.9130
Jivino III	0.3716
La Propicia	0.7939
Manta II	0.6625
Macas	0.9258
Miraflores	0.8628
Payamino	1.0430
Pedernales	0.8844
Pichacay	0.3901

Central	Factor de emisión (t CO ₂ /MWh)
Quevedo II	0.3668
Santa Elena II	0.6720
Santa Elena III	0.6720
Selva Alegre	0.7266

En la tabla 15 se muestra los resultados del factor de emisión con base a la ecuación 1. Los resultados del factor de emisión por este método se analizarán en la sección 2.4

2.3 Cálculo de factor de emisión según la eficiencia de la central

El método 2. permite realizar el cálculo del factor de emisión de las centrales de generación con tecnología de motores de combustión interna con la ecuación 2 planteada en la sección 1.5 opción B. Los parámetros que se requieren son: la eficiencia de las centrales de generación y el factor de emisión de cada tipo de combustible utilizado.

A continuación. se desarrolla la ecuación 2 con los datos de la central termoeléctrica Esmeraldas II.

La central térmica Esmeraldas II desde el 2014. año en el que entro en servicio. ha utilizado para su funcionamiento los combustibles Fuel oíl y Diesel 2. Dado que el factor de emisión del Fuel oíl es 0.0774 t CO₂/GJ y del Diesel 2 0.0741 t CO₂/GJ. se empleará en la ecuación 2 el factor de emisión del Diesel 2. puesto que en la Tool 07 sección 6.4.1.1.1 opción A2 señala que cuando en la unidad de potencia se utilicen varios tipos de combustible se utilice el factor de emisión más bajo de los dos combustibles

Tal como se presentó en la tabla 14. para esta central se estima una eficiencia de 48%. puesto que se considera un motor recíproco para compuestos de petróleo.

$$EF_{EL.m.2020} = \frac{0.0741 \frac{t CO_2}{GJ} \times 3.6 \frac{GJ}{MWh}}{0.48}$$

$$EF_{EL.m.2020} = 0.55575 \frac{t CO_2}{MWh}$$

En la tabla 16 se presenta el factor de emisión calculado mediante la ecuación 2. para cada central térmica generadora con motores de combustión interna.

Tabla 16 Factor de emisión de CO₂ de las centrales térmicas con MCI

Central	Factor de emisión (t CO₂/MWh)
Catamayo	0.8084
Celso Castellanos	0.5558
Dayuma	0.5558
El Descanso	0.8084
El Inga	0.4095
Esmeraldas II	0.5558
G. Hernández	0.8084
Generoca	0.6669
Guangopolo	0.6669
Guangopolo2	0.5558
Jaramijó	0.6669
Jivino I	0.6669
Jivino II	0.6669
Jivino III	0.6669
La Propicia	0.6669
Manta II	0.6669
Macas	0.5558
Miraflores	0.6669
Payamino	0.6669
Pedernales	0.6669
Pichacay	0.4095

Central	Factor de emisión (t CO₂/MWh)
Quevedo II	0.6669
Santa Elena II	0.6669
Santa Elena III	0.6669
Selva Alegre	0.6669

A partir de la ecuación 2 se obtienen los valores de la tabla 16. Estos valores se los analizará y comparará con los resultados de la ecuación 1 en la sección siguiente.

2.4 Análisis de los resultados obtenidos

A partir de la ecuación 1 y ecuación 2. se realizó el cálculo de factores de emisión como se describe anteriormente. En esta sección se hace hincapié en los resultados obtenidos realizando comparaciones de datos con resultados de las emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas de norte América. además de datos de la Red Eléctrica de España (REE) [41].

En Ecuador no se ha realizado un informe que detalle los factores de emisión de cada central de generación por lo que es necesario referenciar los resultados obtenidos. con los informes de países industrializados. por tal motivo se mencionan informes de los Estados Unidos y España. En España en 2017 la REE indica que el factor de emisión de las centrales con motores de combustión interna tiene en promedio el valor de 0.65 tCO₂/MWh [42]. En los valores de las centrales en Norte América se observa valores de 0.741 y 1.235 tCO₂/MWh [41]. En el ANEXO I se tiene los valores de las centrales con motores de combustión de Norte América.

Para el análisis de los cálculos anteriores se realiza un cálculo de las variaciones de los resultados. En la tabla 17 se presenta el porcentaje de variación entre las ecuaciones 1 y 2.

Tabla 17. Variación del factor de emisión entre el método 1 y método 2.

Factor de Emisión (t CO₂/MWh)			
Central	Ecuación 1	Ecuación 2	% variación

Catamayo	1.7560	0.8084	53.97
Celso Castellanos	0.8188	0.5558	32.13
Dayuma	1.0255	0.5558	45.81
El Descanso	0.7079	0.8084	-14.19
El Inga	0.4764	0.4095	14.04
Esmeraldas II	0.6322	0.5558	12.09
G. Hernández	0.6505	0.8084	-24.27
Generoca	0.7603	0.6669	12.29
Guangopolo	0.4574	0.6669	-45.81
Guangopolo2	0.3611	0.5558	-53.91
Jaramijó	0.6343	0.6669	-5.13
Jivino I	1.5075	0.6669	55.76
Jivino II	0.9130	0.6669	26.96
Jivino III	0.3716	0.6669	-79.47
La Propicia	0.7939	0.6669	16.00
Manta II	0.6625	0.6669	-0.66
Macas	0.9258	0.5558	39.97
Miraflores	0.8628	0.6669	22.71
Payamino	1.0430	0.6669	36.06
Pedernales	0.8844	0.6669	24.59
Pichacay	0.3901	0.4095	-4.97
Quevedo II	0.3668	0.6669	-81.81
Santa Elena II	0.6720	0.6669	0.76
Santa Elena III	0.6720	0.6669	0.76
Selva Alegre	0.7266	0.6669	8.22

En la tabla 17. se observa variaciones porcentuales positivas y negativas en donde se puede apreciar que las variaciones positivas indican que las centrales poseen un valor

mayor de emisiones a las que se esperaría encontrar si consideramos el año de puesta en funcionamiento de la central.

Las variaciones negativas indican que el factor de emisión de las centrales es menor a los a la referencia. lo que indica menor índice de contaminación por parte de la central. Mientras que. por el contrario. los valores de variación positivos demuestran que las emisiones son mayores a las que deberían tener en la actualidad. lo cual representa mayor contaminación ambiental.

Los resultados encontrados por medio de los métodos de cálculo (ecuación 1 y 2) de las centrales del país son parecidos a los resultados de las centrales de los Estados Unidos y al valor mencionado por la REE en España lo cual indica un buen tratamiento de datos y uso de la herramienta metodológica.

Existen centrales que tienen porcentajes de variación mayor al 30 por ciento. lo que indica que las centrales son muy ineficientes.

2.5 Proyección del factor de emisión de una nueva central térmica con tecnología a base de MCI

La herramienta metodológica para el cálculo del factor de emisión de un sistema eléctrico (Tool 07) muestra como encontrar el factor de emisión de cada central como lo hemos revisado. este mismo cálculo se lo puede realizar para el cálculo de una nueva central térmica. Debido a que no se puede estimar la demanda que va a cubrir esta central en un año determinado. el cálculo se lo realizaría con datos de eficiencia esperada de la central. Es así que la ecuación a utilizar será la ecuación 2.

Como ejemplo podemos realizar la ecuación con una eficiencia de 48% que es la eficiencia predeterminada para tecnología mayor al año 2012. y el combustible a utilizar será residuo de petróleo. A continuación. se muestra el cálculo de la ecuación 2.

$$EF_{EL.m.2020} = \frac{0.0733 \frac{t \text{ CO}_2}{GJ} \times 3.6 \frac{GJ}{MWh}}{0.48}$$

$$EF_{EL.m.2020} = 0.54975 \frac{t \text{ CO}_2}{MWh}$$

Los cálculos de un nuevo proyecto dependerán de la eficiencia de las unidades que se instalen.

2.6 Calculadora de factor de emisión para centrales en App Designer de Matlab.

En Matlab se realiza una calculadora del factor de emisión de centrales con MCI en la App designer.

La calculadora es un aplicativo para el cálculo del factor de emisión que permite realizar los cálculos en base a la ecuación 1 y ecuación 2. Toma las mismas consideraciones mencionadas para los parámetros. permite escoger entre el combustible que utiliza la central.

La calculadora de factor de emisión toma los valores de combustible consumido en galones para los combustibles líquidos y en mpc (mili pies cúbicos) para el biogás; la cantidad de combustible para arrancar las máquinas (diésel 2); la energía neta generada por la unidad y el año de puesta en servicio o última modificación de la central.

En la figura 4 se observa la interfaz de la calculadora. Además. en el ANEXO 2 observa el código del programa.

MATLAB App

Tipo de combustible:

Combustible consumido 1: [galones] Año de puesta en marcha:

Combustible de arranque (diésel): [galones]

Valor calorífico neto de combustible: [TJ/Gg]

Factor de emisión del combustible: [t CO₂/TJ]

Cantidad de energía generada y entregada a la red: [MWh]

Ecuacion 1
Factor de emisión de la central: [t CO₂/MWh]

Ecuacion 2
Factor de emisión de la central: [t CO₂/MWh]

Figura 4 Calculadora del factor de emisión elaborada en App designer de Matlab.

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones

En este trabajo se realiza el cálculo del factor de emisión de centrales de generación con tecnología de motores de combustión interna aplicando un análisis de las herramientas metodológicas de la UNFCCC. El cálculo del factor de emisión de las centrales de generación permite estimar la cantidad de toneladas de dióxido de carbono que las centrales emiten a la atmósfera por cada unidad de energía eléctrica generada. lo cual constituye un indicador útil para la valoración de medidas de eficiencia energética en el sector de la generación. de hecho está justamente ahí valorada su importancia. pues para la implementación por ejemplo los mercados de carbono. los cuales consisten en la transferencia de reducciones de carbono entre países industrializados basadas en la compra de derechos de emisión a países que están por debajo de sus cuotas. o los mecanismos de desarrollo limpio los que permiten obtener beneficios económicos a través de la venta de “Certificados de Emisiones Reducidas”.

El cálculo del factor de emisión que se desarrolla en este trabajo se basó en las herramientas metodológicas Tool 07 y Tool 09 de la UNFCCC.

Los cálculos se realizaron para las centrales de generación conectadas al SNI que funcionan a base de motores de combustión interna.

Los resultados obtenidos al aplicar el método 1. demuestran que las centrales más eficientes (menos contaminantes) son las centrales con mayor capacidad instalada y energía entregada: La central Jaramijó. Esmeraldas II. Quevedo II y Santa Elena II. las cuales poseen un factor de emisión entre 0.6 y 0.7 ton CO₂/MWh.

Se desarrolló un aplicativo en App Designer de Matlab. con lo cual se puede estimar de manera sencilla el cálculo del factor de emisión de una central específica por las 2 ecuaciones. Para cálculo del factor de emisión del método 1 se requiere la energía neta generada. junto con los datos de consumo de combustible en unidad volumétrica. no requiere realizar transformaciones ya que el mismo aplicativo lo realiza con los datos entregados por el SISDAT. De la misma manera. se calcula en el aplicativo el factor de emisión mediante la ecuación 2 al ingresar el año de puesta en servicio o último cambio de unidades.

Al realizar el cálculo del factor de emisión en base a la ecuación 1. se consideran los datos de consumo de combustible y energía neta generada. con lo que se obtienen resultados entre 0.3611 t CO₂/MWh y 1.7560 t CO₂/MWh. La mayoría de los resultados se encuentran dentro del rango en que se encuentran las centrales de los Estados Unidos y España. Sin embargo. se puede tener datos más exactos. sí existiese un informe de las propiedades de los combustibles que se tiene en el país.

Las centrales menos contaminantes son las centrales Guangopolo II con factor de emisión 0.3611 t CO₂/MWh. Quevedo II con 0.3668 t CO₂/MWh y Jivino III con 0.3716 t CO₂/MWh. Estas centrales son centrales relativamente nuevas pues su construcción se realizó entre 2009 y 2011. Estas centrales tienen potencia efectiva mayor a 40 MW. Lo cual muestran que se realizaron de manera correcta.

Las centrales más contaminantes son las centrales Catamayo con 1.7560 t CO₂/MWh y Jivino I con 1.5075 t CO₂/MWh. Estas centrales muestran que son muy ineficientes. cabe recalcar que la central Catamayo es una central vieja con construcción en 1976 por lo que requiere remplazar o repotenciar sus unidades. mientras que la central Jivino I es una central relativamente nueva. lo cual indica que su construcción posee fallas técnicas.

Las centrales el Inga y Pichacay son centrales con tecnología de MCI que utilizan biogás para su funcionamiento. Su emisión se considera neutra por utilizar gas que se desprende de los desperdicios sólidos. Sin embargo. se las ha tomado en cuenta en este cálculo para evidenciar que son energías menos contaminantes generando emisiones menores al promedio. La central Pichacay tiene un factor de emisión de 0.39 ton CO₂/MWh y la central el Inga 0.476 ton CO₂/MWh.

El cálculo del factor de emisión en base a la ecuación 2. toma a consideración la eficiencia de las centrales de generación de energía eléctrica y el factor de emisión de cada combustible que se utiliza en los MCI. El factor de emisión del combustible es una propiedad química que depende de las características de cada combustible. En este método. al igual que en el método 1. el valor del factor de emisión del combustible es predeterminado. al igual que el valor de la eficiencia de la central. Al usar valores predeterminados se debe tener en cuenta que el dato no es un valor real. por lo que los resultados también serán valores estimados.

La realización de este proyecto funciona como llave para conocer más acerca de los mecanismos de desarrollo limpio (MDL). los mercados de carbono y nuevos proyectos de generación no contaminantes. El conocer las centrales más contaminantes permite a las

autoridades proponer nuevos proyectos que podrían reemplazar o mejorar las centrales existentes.

Al realizar las comparaciones se observa que la mayoría de las centrales con funcionamiento a base de motores de combustión interna se encuentran con emisiones menores a 0.8 t CO₂/MWh.

Los informes de las centrales de los Estados Unidos y la red Eléctrica de España nos indican que los cálculos realizados se los realizó con un correcto tratamiento y uso.

3.2 Recomendaciones

El proyecto se realizó con parámetros predeterminados de las características de los combustibles. lo cual permite generar un margen de incertidumbre de los factores de emisión de las centrales eléctricas. Es necesario que las empresas encargadas del suministro de combustible proporcionen los datos de las características de los combustibles para realizar mejores informes y trabajos en los que se requieran estos datos.

Para los datos de la eficiencia se utilizó datos predeterminados en la herramienta Tool 09. Sin embargo. para una mejor estimación como indicador del factor de emisión o incluso para utilizarlo en informes se requiere tener un estudio de la eficiencia de cada central de generación con motores de combustión interna.

Las entidades encargadas de la información deberían tener una guía detallada para obtener información de manera más rápida y eficaz. Es necesario tener un representante para obtener información de los pasos que se requiere seguir. ya que no se obtuvo respuesta de las organizaciones.

Al inicio de este proyecto se desconocía sobre las herramientas metodológicas de la UNFCCC. Dar a conocer de mejor manera estas herramientas a los estudiantes permitirá crear más conocimiento sobre energía y cambio climático. con lo cual los organismos encargados de cada gobierno podrían plantear nuevos proyectos que incluyan energía limpia o incluso plantear mecanismos de desarrollo limpio.

Los cálculos del factor de emisión son realizados anualmente en el país. están a cargo del ministerio de ambiente y el operador del sistema eléctrico CENACE. El informe anual no muestra los datos de emisión de cada central. lo cual es necesario conocer. esto permitirá evidenciar pérdidas económicas que se generan y evidenciar el impacto ambiental que se produce. Además. se puede verificar que los cálculos son realizados de manera correcta.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Tool to calculate the emission factor for an electricity system.” Aug. 2018.
- [2] ARCONEL. “Estadística anual y multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2015”. Accessed: Jan. 16. 2022. [Online]. Available: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00343.pdf>
- [3] ElectroPerú. “EXPLICACION DE LA TERMINOLOGIA TECNICA QUE UTILIZA ELECTROPERU”.
- [4] IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. vol. II. Accessed: Jan. 02. 2022. [Online]. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf
- [5] CONELEC. “Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano 2011.” 2012.
- [6] R. Online *et al.*. “Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being Publication Details”. Accessed: Nov. 25. 2021. [Online]. Available: <http://ro.uow.edu.au/smhpapers/4629>
- [7] S. Planton *et al.*. “Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.” Cambridge. New York. 2013.
- [8] UNEP and UNFCCC. “Climate Change Information Sheets.” Chatelaine. 1. Jul. 1999. Accessed: Nov. 30. 2021. [Online]. Available: <http://www.unep.ch/iuc/>.
- [9] UNFCCC and UNEP. “Climate Change Information kit.” Oct. 2001. pp. 1–63.
- [10] R. S. Ahima. “Global warming threatens human thermoregulation and survival.” *Journal of Clinical Investigation*. vol. 130. no. 2. pp. 559–561. Feb. 2020. doi: 10.1172/JCI135006.
- [11] “Glossary of climate change acronyms and terms | UNFCCC.” <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronyms-and-terms> (accessed Nov. 30. 2021).
- [12] C. P. Morice. J. J. Kennedy. N. A. Rayner. and P. D. Jones. “Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set.” *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. vol. 117. no. 8. 2012. doi: 10.1029/2011JD017187.
- [13] Energía y Sociedad. “3.1. El cambio climático y los acuerdos internacionales.” <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/3-1-el-cambio-climatico-y-los-acuerdos-internacionales/> (accessed Dec. 08. 2021).
- [14] “Convención de Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.” 1992.
- [15] CMNUCC. “Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.” <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-convention/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico> (accessed Dec. 08. 2021).
- [16] UNFCCC. “¿Qué es el Protocolo de Kyoto?” https://unfccc.int/es/kyoto_protocol (accessed Dec. 09. 2021).

- [17] J. G. Blanco. "Estudio de la gestión de la variable ambiental en la generación termoeléctrica." Oporto. 2013.
- [18] O. Marcel. "La producción termoeléctrica y su impacto." Guayaquil. 2016.
- [19] Comisión para la Cooperación Ambiental. "Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte." Quebec. 2011. Accessed: Dec. 07. 2021. [Online]. Available: www.cec.org
- [20] D. Patricio and B. Salazar. "Diseño de un sistema de medición y control de uso de combustible para las centrales de generación termoeléctrica del S.N.I." 2009.
- [21] M. A. Rojas Rivera. "Incremento de eficiencia de un motor de combustión interna mediante la recuperación de energía.." 2007. Accessed: Dec. 06. 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/567979>
- [22] J. Riaza Benito. "Captura de CO2 en centrales termoeléctricas mediante combustión de carbón y biomasa en condiciones de oxcombustión." Oviedo. 2014. Accessed: Nov. 25. 2021. [Online]. Available: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/28977>
- [23] GASNOVA. "¿Qué es el GLP? ." <https://www.gasnova.co/sobre-el-glp/que-es-el-glp/> (accessed Dec. 07. 2021).
- [24] Enagás. "El gas natural." 2014. <https://www.enagas.es/enagas/es/QuienesSomos/QueEsElGasNatural/ElGasNatural> (accessed Dec. 07. 2021).
- [25] Foro Nuclear. "¿Qué es el gas natural y qué usos tiene?" <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-gas-natural-y-que-usos-tiene/> (accessed Dec. 07. 2021).
- [26] N. F. Reina. R. D. López. C. Chongo. and C. Bruni. "Balance térmico de ciclo combinado de generación de energía eléctrica de la central termoeléctrica de San Nicolas." 2008.
- [27] E. Tawil. "Overview of Gas Turbines".
- [28] C. M. Soares. "Gas Turbines in Simple Cycle Mode & Combined cycle applications". Accessed: Dec. 08. 2021. [Online]. Available: www.bh.com
- [29] S. de Lara Jayme *et al.*. "Modernización de sistemas de control para unidades generadoras del tipo turbogás." Accessed: Dec. 08. 2021. [Online]. Available: <http://transicionenergetica.ineel.mx/Revista/RevistaTransicionN4V1.pdf>
- [30] E. A. Calvo González and V. Vizquerra Rojo. "Combined Cycle Diesel-Steam as Power Plant Repowering: study case." *Ingeniería Energética*. vol. XXXV. no. 2. pp. 122–130. 2014.
- [31] A. K. Tiwari. M. Islam. and M. N. Khan. "Thermodynamic Analysis of Combined Cycle Power Plant." *International Journal of Engineering Science and Technology*. vol. 2. no. 4. pp. 480–491. 2010.
- [32] J. S. Ramirez Fuentes and J. A. Basantes Flor. "Elaboración de material didáctico en un motor de combustión interna de 4 tiempos en corte con caja de cambios." *Quito*. Oct. 2013. <https://core.ac.uk/download/pdf/147381966.pdf> (accessed Nov. 28. 2021).

- [33] T. Suzuki. *The Romance of Engines*. vol. 1. 1997. Accessed: Nov. 28. 2021. [Online]. Available: https://kupdf.net/download/the-romance-of-engines-takashi-suzuki-cap1-3-red_5a78d18be2b6f5ab24ea2353_pdf
- [34] Actualidad Motor. "Tipos de motores: clasificación según combustible. cilindros y más." https://www.actualidadmotor.com/tipos-de-motores/#Tipos_de_motores_segun_el_combustible_que_queman (accessed Dec. 09. 2021).
- [35] T. Hiraishi Buruhani Nyenzi and R. Odingo. *Glosario Anexo 3 Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- [36] L. Haro Estrella. "Factor de emisión de CO2 del sistema nacional interconectado de Ecuador: Informe 2020." Quito. Nov. 2021. Accessed: Dec. 06. 2021. [Online]. Available: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_informe_2020.pdf
- [37] K. Saavedra Navarro. "Cálculo de la Huella de Carbono de EDEGEL SAA en el año 2014." Piura. 2017. Accessed: Jan. 04. 2022. [Online]. Available: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3161/ING_591.pdf?sequence=1
- [38] ARCERNR. "Panorama Eléctrico 2021."
- [39] "Fuels - Densities and Specific Volumes." https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-densities-specific-volumes-d_166.html (accessed Jan. 30. 2022).
- [40] UNFCCC. "Methodological tool Determining the baseline efficiency of thermal or electric energy generation systems."
- [41] Comisión para Cooperación Ambiental. "Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte". Accessed: Jan. 30. 2022. [Online]. Available: <http://www.cec.org>
- [42] "Emisiones de CO 2 asociadas a la generación de electricidad en España." 2020.

5 ANEXOS

ANEXO I. Factor de emisión de las centrales de Norteamérica

ANEXO II. Calculadora del factor de emisión en App Designer de Matlab

ANEXO I

Central	Estado	Generación de Electricidad (MWh)	Emisión de CO ₂ (toneladas)	Factor de emisión de CO ₂ (kg/MWh)	Combustible primario
Northport	Nueva York	7'278'114	5'193'350	714	Petróleo
Manatee	Florida	6'116'586	5'061'615	828	Petróleo
Canal Station	Massachusetts	4'602'939	3'691'411	802	Petróleo
Anclote	Florida	4'133'979	3'653'588	884	Petróleo
Port Everglades	Florida	4'497'763	3'478'447	773	Petróleo
Northside	Florida	3'668'086	3'029'248	826	Petróleo
Cape Canaveral	Florida	3'257'614	2'350'210	721	Petróleo
Turkey Point	Florida	3'030'547	2'180'126	719	Petróleo
P L Bartow	Florida	2'193'974	1'875'026	855	Petróleo
Riviera	Florida	2'450'156	1'833'844	748	Petróleo
Mystic	Massachusetts	1'584'556	1'302'277	822	Petróleo
New Haven Harbor	Connecticut	1'435'307	1'245'151	868	Petróleo

Port Jefferson Energy	Nueva York	1'646'561	1'235'782	751	Petróleo
Dynegy Roseton	Nueva York	1'211'549	1'176'941	971	Petróleo
Indian River (55318)	Florida	1'152'524	859'414	746	Petróleo
Newington	Nueva Hampshire	660'451	686'258	1.039	Petróleo
Suwannee River	Florida	625'659	459'060	734	Petróleo
Middletown	Connecticut	564'810	425'881	754	Petróleo
Oswego Harbor Power	Nueva York	415'194	398'807	961	Petróleo
William F Wyman	Maine	407'834	360'214	883	Petróleo
Devon	Connecticut	458'926	356'878	778	Petróleo
Montville	Connecticut	298'902	306'997	1.027	Petróleo
Benning	District of Columbia	218'124	253'502	1.162	Petróleo
Norwalk Harbor Station	Connecticut	268'015	248'108	926	Petróleo
Gould Street	Maryland	192'843	189'780	984	Petróleo
Vienna	Maryland	151'030	154'047	1.020	Petróleo
Delaware	Pensilvania	115'348	142'457	1.235	Petróleo

ANEXO II

The screenshot shows a MATLAB app window with the following components:

- Tipo de combustible:** A dropdown menu with the text "Seleccione u..." and a "Borrar" button.
- Combustible consumido 1:** A numeric input field with the value "0" and the unit "[galones]".
- Combustible de arranque (diésel):** A numeric input field with the value "0" and the unit "[galones]".
- Valor calorífico neto de combustible:** A numeric input field with the value "0" and the unit "[TJ/Gg]".
- Factor de emisión del combustible:** A numeric input field with the value "0" and the unit "[t CO2/TJ]".
- Cantidad de energía generada y entregada a la red:** A numeric input field with the value "0" and the unit "[MWh]".
- Buttons:** "Calcular" (Calculate) and "Borrar" (Delete).
- Output fields:** "Ecuacion 1" and "Ecuacion 2", each with a "Factor de emisión de la central" label and a shaded numeric output field with the unit "[t CO2/MWh]".

```
classdef cfec < matlab.apps.AppBase
```

```
% Properties that correspond to app components
```

```
properties (Access = public)
```

```
UIFigure matlab.ui.Figure
```

```
e5 matlab.ui.control.NumericEditField
```

```
e5Label matlab.ui.control.Label
```

```
l4Label matlab.ui.control.Label
```

```
l3Label matlab.ui.control.Label
```

```
l2_Label matlab.ui.control.Label
```

```
l2 matlab.ui.control.Label
```

```
l2Label matlab.ui.control.Label
```

```
e1_2 matlab.ui.control.NumericEditField
```

```
e1_2Label matlab.ui.control.Label
```

```
e1_2_Label matlab.ui.control.Label
```

```
option matlab.ui.control.DropDown
```

```
TipodecombustibleDropDownLabel matlab.ui.control.Label
```

```
BorrarButton matlab.ui.control.Button
```

```
e4_Label matlab.ui.control.Label
```

```
l1_Label matlab.ui.control.Label
```

```
e3_Label matlab.ui.control.Label
```

```
e2_Label matlab.ui.control.Label
```

```
e1_Label matlab.ui.control.Label
l1 matlab.ui.control.Label
l1Label matlab.ui.control.Label
b2 matlab.ui.control.Button
e4 matlab.ui.control.NumericEditField
e4Label matlab.ui.control.Label
e3 matlab.ui.control.NumericEditField
e3Label matlab.ui.control.Label
e2 matlab.ui.control.NumericEditField
e2Label matlab.ui.control.Label
e1 matlab.ui.control.NumericEditField
e1Label matlab.ui.control.Label
end
```

```
% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)
```

```
% Code that executes after component creation
```

```
function startupFcn(app)
```

```
app.e1.Visible= 'off';
app.e1Label.Visible = 'off';
app.e1_Label.Visible = 'off';
```

```
app.e1_2.Visible= 'off';
app.e1_2Label.Visible = 'off';
app.e1_2_Label.Visible = 'off';
```

```
app.e2.Visible= 'off';
app.e2Label.Visible = 'off';
app.e2_Label.Visible = 'off';
```

```
app.e3.Visible= 'off';
app.e3Label.Visible = 'off';
app.e3_Label.Visible = 'off';
```

```
app.e4.Visible= 'off';
app.e4Label.Visible = 'off';
app.e4_Label.Visible = 'off';
```

```
app.e5.Visible= 'off';
app.e5Label.Visible = 'off';
```

```
app.l1.Visible= 'off';
app.l1Label.Visible = 'off';
app.l1_Label.Visible = 'off';
```

```

app.l2_Label.Visible = 'off';
app.l2.Visible = 'off';
app.l2Label.Visible = 'off';
app.l3Label.Visible= 'off';
app.l4Label.Visible = 'off';
app.BorrarButton.Visible = 'off';

```

```

app.b2.Visible = 'off';
end

```

```

% Button pushed function: BorrarButton
function BorrarButtonPushed(app. event)
app.e1.Value= 0;
app.e1_2.Value= 0;
app.e4.Value= 0;
end

```

```

% Button pushed function: b2
function b2ButtonPushed(app. event)
value=app.option.Value;
ve1 = app.e1.Value;
ve1_2 = app.e1_2.Value;
anio= app.e5.Value;
if anio<2000
n=0.33;
elseif anio>=2000 && anio <2012
n=0.4;
elseif anio>=2012
n=0.48;
end
switch value
case 'Residuo'
v1=ve1*0.00096*0.00378541;
v1_2=ve1_2*0.000849*0.00378541;

case 'Biogas'
v1=ve1*(0.3048)^3*10*0.97*10^-6;
v1_2=0;
case 'Fuel Oil'
v1=ve1*0.000875*0.00378541;
v1_2=ve1_2*0.000849*0.00378541;

case 'Diesel'
v1=ve1*0.000849*0.00378541;
v1_2=0;

case 'Crudo'
v1=ve1*0.00045*0.00378541;
v1_2=ve1_2*0.000849*0.00378541;

```

```
end
```

```
v2 = app.e2.Value;  
v3 = app.e3.Value;  
v4 = app.e4.Value;
```

```
fc=((v1*v2*v3)+(v1_2*43*74.1))/v4;  
fct=num2str(fc);
```

```
fc2=(v3*3.6)/(1000*n);  
fct2=num2str(fc2);
```

```
app.l1.Text=fct;  
app.l2.Text=fct2;  
end
```

```
% Value changed function: option
```

```
function optionValueChanged(app, event)
```

```
app.e1.Value = 0;  
app.e1_2.Value = 0;  
app.e2.Value = 0;  
app.e3.Value = 0;  
app.e4.Value = 0;  
app.e1.Visible= 'on';  
app.e1Label.Visible = 'on';  
app.e1_Label.Visible = 'on';
```

```
app.e1_2.Visible= 'on';  
app.e1_2Label.Visible = 'on';  
app.e1_2_Label.Visible = 'on';
```

```
app.e2.Visible= 'on';  
app.e2Label.Visible = 'on';  
app.e2_Label.Visible = 'on';
```

```
app.e3.Visible= 'on';  
app.e3Label.Visible = 'on';  
app.e3_Label.Visible = 'on';
```

```
app.e4.Visible= 'on';  
app.e4Label.Visible = 'on';  
app.e4_Label.Visible = 'on';
```

```
app.e5.Visible= 'on';
app.e5Label.Visible = 'on';
```

```
app.l1.Visible= 'on';
app.l1Label.Visible = 'on';
app.l1_Label.Visible = 'on';
app.l2_Label.Visible = 'on';
app.l2.Visible = 'on';
app.l2Label.Visible = 'on';
app.l3Label.Visible= 'on';
app.l4Label.Visible = 'on';
app.b2.Visible = 'on';
app.BorrarButton.Visible = 'on';
```

```
value=app.option.Value;
```

```
switch value
case 'Residuo'
```

```
app.e1.Visible = 'on';
app.e1_2.Visible = 'on';
app.e2.Visible = 'on';
app.e3.Visible = 'on';
app.e4.Visible = 'on';
app.e2.Enable = 'off';
app.e3.Enable = 'off';
app.e1_2.Enable = 'on';
app.e1_Label.Text = '[galones]';
```

```
app.e2.Value= 39.4;
app.e3.Value= 73.3;
```

```
case 'Biogas'
app.e1.Visible = 'on';
app.e1_2.Visible = 'on';
app.e2.Visible = 'on';
app.e3.Visible = 'on';
app.e4.Visible = 'on';
app.e2.Enable = 'off';
app.e3.Enable = 'off';
app.e1_2.Enable = 'off';
app.e1_Label.Text = '[mpc]';
```

```
app.e2.Value= 50.4;
app.e3.Value= 54.6;
case 'Fuel Oil'
```

```
app.e1.Visible = 'on';
app.e1_2.Visible = 'on';
app.e2.Visible = 'on';
app.e3.Visible = 'on';
app.e4.Visible = 'on';
app.e2.Enable = 'off';
app.e3.Enable = 'off';
app.e1_2.Enable = 'on';
app.e1_Label.Text = '[galones]';
app.e2.Value= 40.4;
app.e3.Value= 77.4;
```

```
case 'Diesel'
```

```
app.e1.Visible = 'on';
app.e1_2.Visible = 'on';
app.e2.Visible = 'on';
app.e3.Visible = 'on';
app.e4.Visible = 'on';
app.e2.Enable = 'off';
app.e3.Enable = 'off';
app.e1_2.Enable = 'off';
app.e1_Label.Text = '[galones]';
```

```
app.e2.Value= 43;
app.e3.Value= 74.1;
```

```
case 'Crudo'
```

```
app.e1.Visible = 'on';
app.e1_2.Visible = 'on';
app.e2.Visible = 'on';
app.e3.Visible = 'on';
app.e4.Visible = 'on';
app.e2.Enable = 'off';
app.e3.Enable = 'off';
app.e1_2.Enable = 'on';
app.e1_Label.Text = '[galones]';
```

```
app.e2.Value= 43;
app.e3.Value= 74.1;
```

```
end
end
end
```

```

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible'. 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 608 480];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';

% Create e1Label
app.e1Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e1Label.HorizontalAlignment = 'center';
app.e1Label.WordWrap = 'on';
app.e1Label.Position = [123 387 88 31];
app.e1Label.Text = 'Combustible consumido 1';

% Create e1
app.e1 = uieditfield(app.UIFigure. 'numeric');
app.e1.Position = [226 386 65 23];

% Create e2Label
app.e2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e2Label.HorizontalAlignment = 'center';
app.e2Label.WordWrap = 'on';
app.e2Label.Position = [113 279 100 42];
app.e2Label.Text = 'Valor calorifico neto de combustible';

% Create e2
app.e2 = uieditfield(app.UIFigure. 'numeric');
app.e2.Position = [228 289 65 23];

% Create e3Label
app.e3Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e3Label.HorizontalAlignment = 'center';
app.e3Label.WordWrap = 'on';
app.e3Label.Position = [133 232 73 50];
app.e3Label.Text = 'Factor de emisión del combustible';

% Create e3
app.e3 = uieditfield(app.UIFigure. 'numeric');
app.e3.Position = [228 246 65 23];

% Create e4Label
app.e4Label = uilabel(app.UIFigure);

```

```

app.e4Label.HorizontalAlignment = 'center';
app.e4Label.WordWrap = 'on';
app.e4Label.Position = [86 176 136 46];
app.e4Label.Text = 'Cantidad de energía generada y entregada a la red';

% Create e4
app.e4 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.e4.Position = [227 188 65 23];

% Create b2
app.b2 = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.b2.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @b2ButtonPushed, true);
app.b2.Position = [25 125 100 22];
app.b2.Text = 'Calcular';

% Create l1Label
app.l1Label = uilabel(app.UIFigure);
app.l1Label.WordWrap = 'on';
app.l1Label.Position = [170 85 59 41];
app.l1Label.Text = 'Factor de emisión de la central';

% Create l1
app.l1 = uilabel(app.UIFigure);
app.l1.BackgroundColor = [0.8 0.8 0.8];
app.l1.Position = [241 97 87 25];
app.l1.Text = '';

% Create e1_Label
app.e1_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e1_Label.Position = [306 384 61 27];
app.e1_Label.Text = '[galones]';

% Create e2_Label
app.e2_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e2_Label.Position = [307 287 73 27];
app.e2_Label.Text = '[TJ/Gg]';

% Create e3_Label
app.e3_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e3_Label.Position = [306 244 75 27];
app.e3_Label.Text = '[t CO2/TJ]';

% Create l1_Label
app.l1_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.l1_Label.Position = [337 96 75 27];
app.l1_Label.Text = '[t CO2/MWh]';

```

```

% Create e4_Label
app.e4_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e4_Label.Position = [306 186 61 27];
app.e4_Label.Text = '[MWh]';

% Create BorrارButton
app.BorrarButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.BorrarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @BorrarButtonPushed,
true);
app.BorrarButton.Position = [475 427 106 31];
app.BorrarButton.Text = 'Borrar';

% Create TipodecombustibleDropDownLabel
app.TipodecombustibleDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TipodecombustibleDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TipodecombustibleDropDownLabel.Position = [-4 432 112 26];
app.TipodecombustibleDropDownLabel.Text = 'Tipo de combustible';

% Create option
app.option = uidropdown(app.UIFigure);
app.option.Items = {'Seleccione un combustible'. 'Biogas'. 'Residuo'. 'Fuel
Oil'. 'Diesel'. 'Crudo'};
app.option.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @optionValueChanged, true);
app.option.Position = [123 431 119 31];
app.option.Value = 'Seleccione un combustible';

% Create e1_2_Label
app.e1_2_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e1_2_Label.Position = [306 340 61 27];
app.e1_2_Label.Text = '[galones]';

% Create e1_2Label
app.e1_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e1_2Label.HorizontalAlignment = 'center';
app.e1_2Label.WordWrap = 'on';
app.e1_2Label.Position = [124 333 88 41];
app.e1_2Label.Text = 'Combustible de arranque (diésel)';

% Create e1_2
app.e1_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.e1_2.Position = [227 342 65 23];

% Create l2Label
app.l2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.l2Label.WordWrap = 'on';
app.l2Label.Position = [170 12 59 46];
app.l2Label.Text = 'Factor de emisión de la central ';

```

```

% Create l2
app.l2 = uilabel(app.UIFigure);
app.l2.BackgroundColor = [0.8 0.8 0.8];
app.l2.Position = [241 29 87 25];
app.l2.Text = '';

% Create l2_Label
app.l2_Label = uilabel(app.UIFigure);
app.l2_Label.Position = [337 28 75 27];
app.l2_Label.Text = '[t CO2/MWh]';

% Create l3Label
app.l3Label = uilabel(app.UIFigure);
app.l3Label.WordWrap = 'on';
app.l3Label.Position = [170 57 72 27];
app.l3Label.Text = 'Ecuacion 2';

% Create l4Label
app.l4Label = uilabel(app.UIFigure);
app.l4Label.WordWrap = 'on';
app.l4Label.Position = [170 125 72 27];
app.l4Label.Text = 'Ecuacion 1';

% Create e5Label
app.e5Label = uilabel(app.UIFigure);
app.e5Label.HorizontalAlignment = 'center';
app.e5Label.WordWrap = 'on';
app.e5Label.Position = [411 374 88 31];
app.e5Label.Text = 'Año de puesta en marcha';

% Create e5
app.e5 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.e5.Position = [515 378 65 23];

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = cfec

% Create UIFigure and components

```

```
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

% Execute the startup function
runStartupFcn(app, @startupFcn)

if nargin == 0
    clear app
end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)
end
end
end
```