



ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO POR EL CAMBIO DE LAS COCINAS A GAS POR COCINAS A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Ing. Margarita Espinoza MSc.
Ing. Judith Flores MSc.
Ing. Wilfrido Quiñonez MSc.

**ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LAS EMISIONES DE DIÓXIDO
DE CARBONO POR EL CAMBIO DE LAS COCINAS A
GAS POR COCINAS A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

Autores:

Ing. Margarita Espinoza MSc.

Ing. Judith Flores MSc.

Ing. Wilfrido Quiñonez MSc.

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LAS EMISIONES DE DIÓXIDO
DE CARBONO POR EL CAMBIO DE LAS COCINAS A
GAS POR COCINAS A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Autores:

Ing. Margarita Espinoza MSc.

Ing. Judith Flores MSc.

Ing. Wilfrido Quiñonez MSc.



Primera edición: diciembre 2018
© Ediciones Grupo Compás 2018
ISBN: 978-9942-33-094-9

Diseño de portada y diagramación:
Grupo Compás
Este texto ha sido sometido a un proceso de
evaluación por pares externos
con base en la normativa del editorial

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las
sanciones en las leyes, la producción o
almacenamiento total o parcial de la presente
publicación, incluyendo el diseño de la portada,
así como la transmisión de la misma por
cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico,
como químico, mecánico, óptico, de grabación
o bien de fotocopia, sin la autorización de los
titulares del copyright.

Cita.

Espinoza, M, Flores, J, Quiñonez, W, (2018) ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LAS EMISIONES
DE DIÓXIDO DE CARBONO POR EL CAMBIO DE LAS COCINAS A GAS POR COCINAS
A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador,
68 pag

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LAS EMISIONES DE DIÓXIDO
DE CARBONO POR EL CAMBIO DE LAS COCINAS A
GAS POR COCINAS A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Autores:

Ing. Margarita Espinoza MSc.

Ing. Judith Flores MSc.

Ing. Wilfrido Quiñonez MSc.



Primera edición: diciembre 2018
© Ediciones Grupo Compás 2018
ISBN: 978-9942-33-

Diseño de portada y diagramación:
Grupo Compás
Este texto ha sido sometido a un proceso de
evaluación por pares externos
con base en la normativa del editorial

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las
sanciones en las leyes, la producción o
almacenamiento total o parcial de la presente
publicación, incluyendo el diseño de la portada,
así como la transmisión de la misma por
cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico,
como químico, mecánico, óptico, de grabación
o bien de fotocopia, sin la autorización de los
titulares del copyright.

Cita.

Espinoza, M, Flores, J, Quiñonez, W, (2018) ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LAS EMISIONES
DE DIÓXIDO DE CARBONO POR EL CAMBIO DE LAS COCINAS A GAS POR COCINAS
A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador,
68 pag

Prólogo

Los investigadores resumen en este libro que los miles de millones de toneladas de dióxido de carbono, CO₂, se acumulan anualmente en nuestra atmósfera. Cabe recordar que los gases de efecto invernadero, en buena parte generados por la destrucción de bosques, humedales y por la combustión del carbón y derivados del petróleo, impiden el refrescamiento natural de la Tierra. La nube tóxica formada por los gases, actúa como reflector de radiaciones y las remite a la superficie terrestre provocando aumentos de temperatura o comportamientos anormales del clima en su conjunto.

Identificar los focos de generación de CO₂, definir acciones a corto y largo plazo, que ayuden a mitigar la producción de gases de efecto invernadero, se está volviendo una política de estado, si bien las acciones tomadas en carácter económico, llevan una acción precisa de eliminar o reducir subsidios, el cambio en la matriz energética del país, tiene un potencial de generar un impacto muy significativo que ayude a la huella de carbono. El presente estudio tiene como finalidad principal cuantificar ese impacto favorable, definir las toneladas de CO₂ que se dejarían de emitir por cambiar el suministro de energía de las cocinas.

Aplicar los conocimientos de ingeniería y a su vez correlacionarlos con las emisiones, es lo que se requiere para el desarrollo de este estudio.

Las cocinas a inducción electromagnéticas no generan gases de combustión, son menos toneladas de CO₂ emitidas, pero también es un ahorro energético considerable, debido a que las cocinas a inducción focalizan utilizar la energía solo para el calentamiento del alimento, con esto se obtienen eficiencias del sistema muy cercanas al 90 % o incluso superiores a estos rubros.

La iniciativa del cambio de la matriz energética, se debe complementar con el cambio en el factor de emisión de CO₂ del Ecuador, con esto podríamos definir cuál es el apoyo real del país hacia la iniciativa de huella de carbono.

Índice

Prólogo	2
Introducción	6
Desarrollo y justificación	8
Nociones preliminares	13
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA	15
Campo Magnético	18
Líneas de fuerza del Campo Magnético.....	19
Intensidad del campo magnético	20
Leyes que rigen la inducción electromagnética	20
Ley de inducción de Faraday	21
Ley de Lenz	21
Ley de Ampère	23
Efecto Joule	24
Efecto piel o efecto pelicular	24
Como trabaja el calor por inducción	25
Ventajas del Calentamiento por inducción	26
Factores a considerar	27
Componentes de un sistema a inducción	28
Aplicaciones del calentamiento por inducción.....	32
Factor de emisión de dióxido de carbono.....	35
Pasos para calcular el factor de emisión	37
Reacciones del sistema a combustión	39
Balance de energía sistema de inducción	44
Energía del sistema	46
Energía del material	46
Radiación	47
Iguando Ecuaciones	47
Balance de energía sistema a combustion	48
Calculo de eficiencia de los sistemas	49
Cálculo de emisiones de dióxido de carbono para cada sistema	52

Consumo de gas licuado de petróleo en Ecuador	54
Resultados	57
Emisión de dióxido de carbono por propano.....	59
Emisión de dióxido de carbono por butano	59
Emisión total por kilogramo de gas licuado de petróleo	60
Eficiencias de los sistemas	61
Combustión	62
Inducción	63
Calculo de ahorro en emisiones por eficiencia.....	64
Potencia adicional requerida	66
Bibliografía	68

Introducción

El Gobierno Nacional en el plan de desarrollo del buen vivir, apunta a un cambio de la matriz energética, enfocándose en la intención de cambio de las cocinas a gas por cocinas a inducción electromagnéticas, el objetivo principal de este cambio es poder ir eliminando de forma gradual el uso de gas licuado de petróleo (GLP), con esto el Gobierno tiene el beneficio de poder ahorrar el subsidio del GLP, pero además existe un rubro que se suma a esta iniciativa que no está cuantificado, el cual es la reducción de emisiones, principalmente de Dióxido de Carbono por dos motivos principales:

- La cocción por inducción electromagnética es más eficiente comparada por la cocción por combustión normal.
- La electricidad utilizada por las cocinas electromagnéticas se va a generar con hidroeléctricas, lo cual reduce el uso de combustibles fósiles y con esto se reducen las emisiones de gases de combustión.

Con estos antecedentes cuantificar esta iniciativa, puede ayudar a definir con cuantas toneladas de Dióxido de Carbono el Ecuador puede potencialmente colaborar a las iniciativas mundiales de huellas orgánicas de carbono.



Desarrollo y justificación

La demanda energética de un país va de la mano con el crecimiento económico de un país, razón por la cual es necesario optimizar el uso de los recursos, la tendencia mundial es a cambiar a tecnología más eficientes, para poder optimizar el uso de la energía, es decir hacer más trabajo con la menor energía posible, en el tema referente al uso de la energía para la cocción de alimentos, Ecuador no se ha quedado atrás, la población ha cambiado, pasando de cocinas a queroseno, diésel y gas licuado de petróleo (GLP), y actualmente el Gobierno Nacional acorde al plan de desarrollo del buen vivir, tiene como objetivos el cambio de las cocinas a combustión por cocinas a inducción electromagnética, se generan dos impactos positivos en este cambio, la menor generación de Dióxido de Carbono, por no combustionar GLP y por el uso de una tecnología más eficiente. El presente estudio pretende cuantificar las toneladas de Dióxido de Carbono que no se generaría por el cambio de tecnología, producto de una mejor eficiencia.

Se conoce que el Dióxido de Carbono (CO_2) es un gas de efecto invernadero, razón por la cual existen iniciativas a nivel mundial con la finalidad de bajar las emisiones al ambiente, una de las principales fuentes de generación de este gas de efecto invernadero es por la

combustión, la población en sus actividades diarias requiere de energía la cual principalmente viene de la combustión.

Las actividades de la vida diaria requieren energía, transportación, alimentación entre otras

Vamos a enfocarnos en cuantificar cuantos gases de invernadero (CO_2 , principalmente), se generan producto de la alimentación, sabiendo que actualmente más del 95% de la población ecuatoriana usa como sistema de cocción de alimentos las cocinas a gas.

Es un rubro muy grande, que puede presentar un cambio significativo en la emisión de gases de invernadero, cambiando la energía requerida para la cocción de alimentos.

Se realizaran balances de materia y energía en ambos sistemas (cocinas a gas y cocinas electromagnéticas), en función de estos balances se calculará la eficiencia de cada sistema, considerando para cada sistema sus pérdidas por radiación, rampas de calentamiento, calor que sale en los gases de combustión (para el caso de las cocinas a gas), perdidas de calor por temperaturas altas en los

cables de conducción de electricidad (para el caso de cocinas electromagnéticas).

Se conoce que los sistemas de calentamientos por energía electromagnética son más eficientes al momento de generar calor, por muchos factores:

- No generan gases de combustión.
- La energía fluye de una forma más limpia, desde el inductor hasta la superficie de material que posea la capacidad de aceptar flujo electromagnético.

Los esquemas son los siguientes:

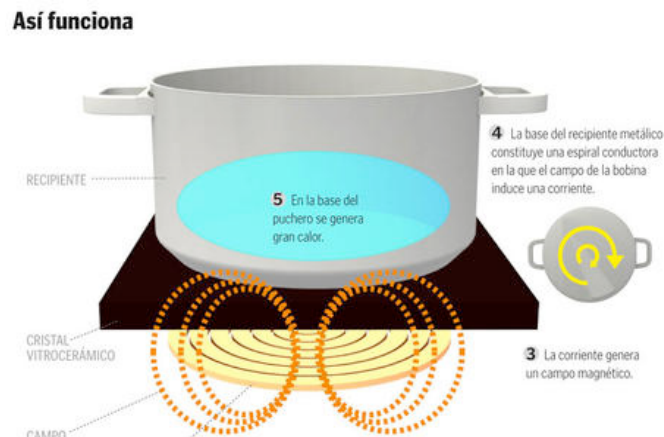


Figura 1: Esquema cocina a inducción

Los dos componentes principales de la Hornilla de Inducción son las bobinas de inducción y el sistema de control. El sistema de control

electrónico suministra energía a las bobinas, causando que generen poderosos campos magnéticos en las áreas que están inmediatamente arriba de las bobinas. Estos campos magnéticos viajan a través de la placa vitrocerámica sobre la cual se colocan los utensilios de cocina y en los materiales ferromagnéticos de las ollas y sartenes se forman corrientes “eddy” (también conocidas como corrientes parásitas o corrientes de remolino). La gran cantidad de energía que generan estas corrientes calienta directamente el alimento conduciendo el calor a través de la base de la olla o sartén y hacia el interior del alimento. Para lograr buenos resultados al cocinar, es esencial utilizar ollas y sartenes de buena calidad que sean apropiados para los procesos de cocinado particulares que se lleven a cabo.



Figura 2: Fotografía cocina a Gas

Por el otro lado las cocinas a gas no tienen la facilidad de focalizar la energía, calientan todo el recipiente y los alimentos, se pierde tiempo y se generan gases, principalmente CO₂.

La hipótesis en función de lo expuesto indica que el sistema electromagnético es más eficiente, pero es necesario colocar número en función del trabajo que pueden realizar, verificar en cada sistema la capacidad de trabajo que cada uno de ellos puede realizar.

Nociones preliminares

En primera instancia se deberá realizar el balance de energía, cumpliendo la ley de la conservación de la masa y la energía, independientemente de cual sea la fuente de energía (a gas o eléctrica), la ley de la conservación de la energía, la energía no se destruye ni se construye sino que se transforma.

Los pasos a seguir serían los siguientes:

- Definir el límite del sistema: Colocar hasta adonde se piensa medir la energía y masa que entra y sale del sistema.
- Definir las razones de flujos requeridas para realizar el balance.

El esquema del balance sería el siguiente:

Para una cocina a gas:

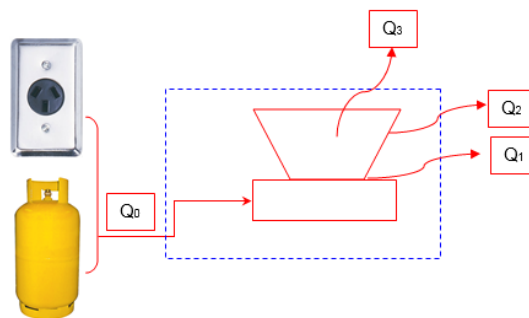


Figura 3: Esquema límite del sistema cocina a Gas

El balance de energía se plantea de la siguiente forma:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Q_0 = Representa a la energía que ingresa al sistema, dependiendo del tipo de energía a usar, se tiene la fórmula.

Tabla 1: Ecuaciones del balance

Tipo de energía	Ecuación
A gas	$m_{\text{gas}} * \Delta H_{\text{gas}}$; donde: m_{gas} : Es la masa del gas. (En kg) ΔH_{gas} : Es la entalpía de combustión del GLP (En kJ/kg)
Eléctrica	$P * t$; donde: P: Es la potencia consumida en un periodo de tiempo (En kW) t: Corresponde al tiempo de uso del equipo (En segundos)

Q_1 = Corresponde a la energía que sale con los gases de combustión generados en la cocina a gas, estos gases de combustión no se generan en un sistema a inducción electromagnética. (En kJ)

Q_2 = Corresponde a la energía emitida por radiación del recipiente que contiene la materia a calentar. (En kJ)

Q_3 = Corresponde a la energía requerida para calentamiento de la materia en el interior del recipiente. (En kJ).

La eficiencia al final se calcula con la siguiente expresión:

$$\%Eff = \frac{Q_3}{Q_0}$$

Se calculan las eficiencias para cada sistema y con este rubro se puede definir, cuanta energía requiere uno u otro sistema para calentar una unidad de masa de materia.

En esta sección se presenta los principios básicos teóricos asociados al funcionamiento de las cocinas a inducción, se explicará brevemente el fenómeno de inducción electromagnética y las leyes que la rigen.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

El calentamiento por inducción electromagnética en la actualidad es ampliamente utilizado en la industria debido a las ventajas que ofrece: alta eficiencia energética, excelente calidad de producción de energía, muy buena precisión al focalizar el calor en zonas determinadas, en fin una operación de aprovechamiento de la energía más limpio. En otras palabras, este tipo de calentamiento es un método de suministrar calor de forma rápida, consistente, limpia y eficiente para distintas aplicaciones.

El principio de funcionamiento del calentamiento por inducción fue mostrado en experimentos realizados por Michael Faraday en 1831, quien mostró que es posible inducir la fuerza electromotriz (fem-voltage inducido) en un circuito, utilizando un campo magnético variable.

En consecuencia, si una corriente eléctrica de frecuencia variable genera un campo magnético, este campo magnético variable induce una corriente eléctrica en un circuito cerrado.

El concepto de inducción electromagnética parte del hecho de que todos los metales tienen la capacidad de conducir electricidad, pero mientras la energía es transportada por el metal este ofrece una resistencia al paso de la electricidad. Esta resistencia al flujo de corriente ocasiona pérdidas de energía a los alrededores en forma de calor. Esto es debido a que la energía no se destruye ni se construye, sino que se transforma. Es decir no existen pérdidas de energía. (Haimbaugh, 2001).

Las pérdidas producidas por resistencia responden a la siguiente ecuación:

$$P = i^2 R, \text{ donde, (Raymond A. Serway, 2011)}$$

P= Es la potencia que se genera (en watios)

i= Es la intensidad de corriente (en amperios)

R= Es la resistencia a la corriente (en ohmios)

Acorde a esta fórmula la cantidad de energía que se pierde, producto de la resistencia de la corriente eléctrica es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente, la resistencia eléctrica en los

materiales se vuelve importante para poder definir el potencial de generación de calor por potencia, por ejemplo los metales como el cobre, plata y oro presentan valores de resistencia muy bajos, pero otros metales como el acero, poseen una alta resistencia a la electricidad, por lo cual son utilizados para generar calor.

En un básico calentamiento por inducción, la energía se convierte en calor por una fuente inductiva, y la parte a ser calentada es colocada en el interior del inductor.

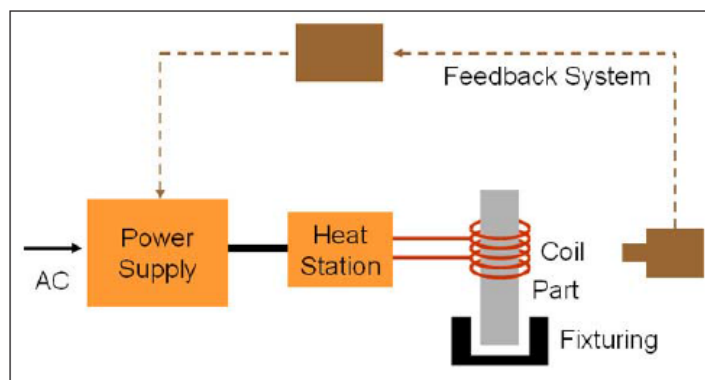


Figura 4: Esquema de un sistema de Inducción electromagnética

El calentamiento por inducción electromagnética se basa en la energía suministrada por radiofrecuencia, puesto que el calor se transfiere al producto a través de ondas electromagnéticas, la parte nunca entra en contacto directo con ninguna llama, el inductor no se calienta, y no hay contaminación del producto. Este proceso inicia, se repite y es controlado de forma adecuada para generar un ciclo, acorde al diagrama de la figura 1.

Campo Magnético

Del modo que en electricidad se habla de campo eléctrico a una carga eléctrica, en reposo o en movimiento que genera un campo eléctrico en su entorno; análogicamente, el hecho de que las fuerzas magnéticas sean fuerzas de acción a distancia permite recurrir a la idea física de campo para describir la influencia de un imán o de un conjunto de imanes sobre el espacio que les rodea. ("Campo magnético. Electromagnetismo 1," n.d.).

Asimismo, se puede decir que existe un campo magnético en una zona del espacio si la carga en movimiento dentro de la misma experimenta la acción de una fuerza distinta de la fuerza electrostática y de la fuerza gravitatoria si tuviese masa. (Electricidad, n.d.).

Un campo magnético implica la existencia de líneas de fuerza llamadas líneas de inducción magnética. Se trata de líneas cerradas que van de Norte a Sur fuera del imán y de Sur a Norte dentro del mismo. (Electricidad, n.d.).

Líneas de fuerza del Campo Magnético

Las líneas de fuerza son usadas para representar la estructura del campo magnético. En cada punto las líneas de fuerza de campo magnético indican la dirección en la que se orientaría una pequeña brújula situada en un punto o sitio dado. Así las limaduras de hierro sobre un imán se orientan a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético correspondiente y el espectro magnético resultante proporciona una representación espacial del campo. Las líneas de fuerza salen del polo Norte y se dirigen al polo Sur. (Electricidad, n.d.).

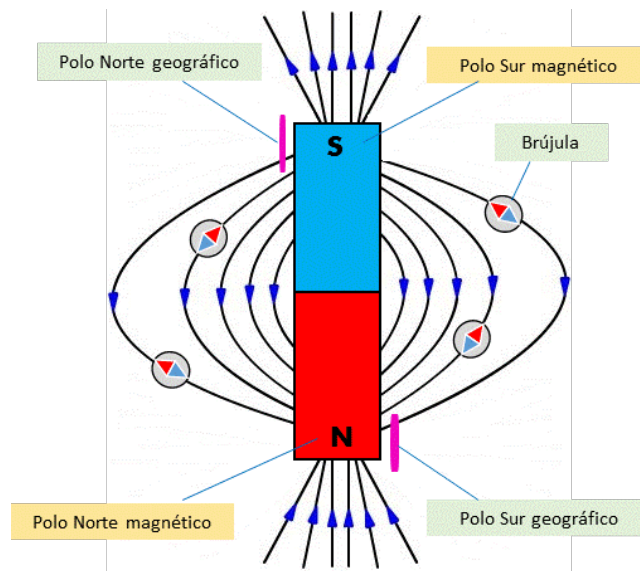


Figura 5. Líneas de Campo Magnético. Polos de un imán.

En lo que respecta a los polos, el Norte geográfico están cerca del polo sur magnético y el polo Sur geográfico en realidad es un polo Norte magnético.

Intensidad del campo magnético

Como sucede en otros campos de fuerza, el campo magnético queda definido matemáticamente si se conoce el valor que toma en cada punto una magnitud vectorial que recibe el nombre de intensidad de campo. Las brújulas, al alinearse a lo largo de las líneas de fuerza de campo magnético, indican la dirección y el sentido de la intensidad del campo.

La Intensidad o excitación magnética es uno de los tres campos que describen al magnetismo desde el punto de vista macroscópico, y está asociada al movimiento de cargas libres y con los polos magnéticos. También es conocida como inducción magnética.

Leyes que rigen la inducción electromagnética

El proceso de calentamiento mediante la inducción electromagnética se basa primordialmente en los siguientes fenómenos físicos:

- Ley de inducción de Faraday
- Ley de Lenz
- Ley de Ampère
- Efecto Joule
- Efecto piel

Ley de inducción de Faraday

La ley de inducción de Faraday es una de las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo, deducidos en experimentos sencillos llevados a cabo por Michael Faraday en 1831 y por Joseph Henry en los Estados Unidos en esa misma época. Faraday se dio cuenta que el cambio en el flujo de inducción para una bobina puede ser producido por un imán recto o por una espira de corriente. (Corrientes et al., 1831).

Faraday demostró que se induce una corriente eléctrica en la espira alterando el campo magnético en las proximidades de la espira. De esta manera la espira se comporta como si estuviese conectada a una fem. ("Electromagnetismo : Magnetismo," 2000).

La ley de Faraday establece que el voltaje (FEM, Fuerza Electromotriz Inducida ϵ) inducido en una bobina es directamente proporcional a la rapidez con la cual está cambiando el flujo que atraviesa el circuito. (Corrientes et al., 1831).

Ley de Lenz

La ley de Lenz enunció una regla que permite determinar el sentido de la corriente inducida en un circuito cerrado, explica que siempre que

se induce una corriente, su campo magnético se opone al cambio de flujo. (Executivo, Legais, & Requisitos, 2010).

Esta ley podría haberse predicho a partir del principio de la conservación de la energía. Cuando se mueve un imán hacia la bobina, induciéndose así una corriente en el enrollamiento, la corriente inducida calienta el alambre. Para proporcionar la energía necesaria para ello, se tiene que hacer un trabajo venciendo la fuerza que se opone. Si la fuerza no se opusiera al movimiento, se estaría creando energía; por lo tanto, el campo magnético de la corriente inducida tiene que oponerse al cambio.

El enunciado de la ley de Lenz dice; "En un circuito conductor cerrado, la corriente inducida aparece en una dirección tal que esta se opone a la dirección del campo que la produce".

Cabe mencionar que el signo negativo en la ley de Faraday está íntimamente relacionado con esta noción de oposición. Asimismo, es necesario recalcar que esta ley se refiere a corrientes inducidas, y no a fuerzas electromotrices inducidas, por lo cual esta ley sólo se aplica a circuitos conductores cerrados.(Executivo et al., 2010).

Ley de Ampère

Ampère descubrió que la dirección que toma la aguja de una brújula depende de la dirección de la corriente eléctrica que circula cerca y dedujo de esto la regla de Ampère. Las cargas en movimiento o corrientes son la fuente del magnetismo. Esto se puede demostrar poniendo una brújula cerca de un alambre. La aguja se orienta según la dirección tangencial del camino circular.

La ley de Ampère tiene una analogía en magnetismo con el teorema de Gauss en electrostática. Así como el teorema de Gauss es usado para el cálculo del campo eléctrico creado por determinadas distribuciones de carga, la ley de Ampère es útil para el cálculo de campos magnéticos creados por determinadas distribuciones de corriente. En torno a esto, la ley de Ampère es válida sólo para corrientes estables, y se utiliza sólo para el cálculo de campos magnéticos de configuraciones de corriente con un alto grado de simetría como pasaba con la ley de Gauss. ("Electromagnetismo: Magnetismo," 2000).

La ley de Ampère explica, que la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es igual a la corriente que lo recorre en ese contorno

Efecto Joule

Se conoce como efecto Joule al calentamiento del conductor por el que circula la corriente producido por la interacción existente entre un fenómeno eléctrico, la conducción de corriente eléctrica y su fenómeno térmico asociado. Esto se debe a que si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan.

Este efecto fue definido como "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo de ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". ("Aida aracely flores nolasco," 2009).

El efecto Joule es usado para calcular la energía disipada en un conductor atravesado por una corriente eléctrica.

Efecto piel o efecto pelicular

Una propiedad de la corriente es el hecho de que esta se concentra en la parte externa del conductor. El efecto piel es la tendencia que tiene la corriente alterna de viajar en el perímetro del conductor que la

transporta con el incremento de la frecuencia de dicha corriente. Este fenómeno hace que la resistencia efectiva o de corriente alterna sea mayor que la resistencia óhmica o de corriente continua. ("Aida aracely flores nolasco," 2009).

En corriente continua, la densidad de corriente es similar en todo el conductor (a), pero en corriente alterna se observa que hay una mayor densidad de corriente en la superficie que en el centro (b).

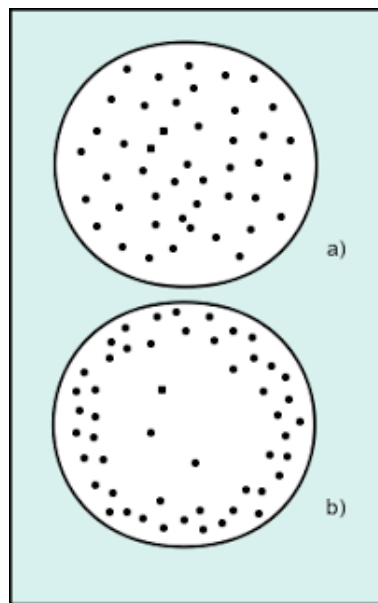


Figura 6. Distribución de la densidad de corriente en a) corriente continua y b) corriente alterna

Como trabaja el calor por inducción

La inducción es un método de calentamiento sin contacto ni llama que puede poner al rojo vivo en segundos una sección determinada. Esto

se debe a una corriente alterna que fluye a través de una bobina y se genera un campo magnético.

Cuando la electricidad es aplicada para generar un campo electromagnético. Acorde a las leyes de Faraday, se puede inducir una corriente para generar energía.

En un básico proceso de calentamiento por inducción, una fuente de poder envía una corriente alterna a través de un inductor (normalmente una bobina de cobre), y la parte a ser calentada, la cual es colocada en el interior del inductor. El inductor transporta la energía y el calentamiento inicia, cuando un metal es colocado en el interior de la bobina, este calor es inducido hacia el exterior.

Ventajas del Calentamiento por inducción

Los beneficios principales del calentamiento por inducción son los que a continuación se describen:

- Generación del calentamiento en el lugar requerido.
- Ausencia de contacto físico.
- No requieren abastecimiento de combustible externo.
- Ausencia de pérdidas en transferencias calóricas.

- Rapidez y precisión.
- Fácil automatización y control.
- Mayor eficiencia energética.
- No hay generación de gases de combustión.

Factores a considerar

La eficiencia de una máquina de inducción depende de algunos factores, tales como: las características de sus componentes, el diseño del inductor, la potencia de la fuente de energía, la cantidad de temperatura requerida para una determinada aplicación.

Los factores a considerar se describen a continuación:

- **Metal o plástico:** Se debe tener presente que el calentamiento por inducción trabaja solo con materiales inductivos. Los cuales son normalmente metales, aunque actualmente pueden existir materiales plásticos sintéticos, que poseen la característica de transmitir la electricidad.
- **Magnético o no magnéticos:** Los materiales magnéticos también producen calor a través de lo que se conoce como el efecto histéresis.

Para entender la inducción, consideremos una barra de caucho cargada negativamente se acerca a una esfera conductora neutra (no cargada) aislada de tierra. Es decir no existe trayectoria conductora hacia la tierra. La región de la esfera más cercana a la barra cargada negativamente obtendrá un exceso de cargas positivas, mientras que la región de la esfera más lejana de la barra obtendrá un exceso de carga negativa. Si este mismo experimento se realiza con un alambre conductor conectado a tierra. Algunos electrones serán repelidos hacia la tierra. Si el alambre a tierra se quita, la esfera contendrá un exceso de carga positiva inducida. Finalmente, cuando se retira la barra de caucho de la vecindad de la esfera, la carga inducida permanece en la esfera no aterrizada.

El principio del calentamiento por inducción por corriente eléctrica, existe un conductor eléctrico, normalmente de hierro o acero, colocado en el inductor, el cual es calentado rápidamente.

Componentes de un sistema a inducción

Los componentes básicos de un sistema de calentamiento por inducción son: la fuente de potencia (energía), la estación de calentamiento, el espiral inductor, y el material a calentar.

- **La fuente de potencia:** Es la que recibe una corriente alterna normalmente entre 200 a 400 voltios, que es rectificadora y regulada, luego alimenta al convertidor de frecuencia, que permite la generación del campo magnético en el espiral. Existe una estrecha relación entre la frecuencia de operación de la corriente que genera el campo y la profundidad de operación sobre la pieza o material a calentar.

Como se ha indicado la, corriente inducida que fluye sobre la pieza es más intensa en la superficie, y decae rápidamente bajo la superficie. Por ello el exterior se calentará más rápido que el interior: El 80% del calor producido en la pieza se concentra en el exterior. Cuanto mayor es la frecuencia de operación menor es la profundidad de penetración, es decir más superficial es el efecto.

Las bajas frecuencias de 5 a 30 kHz son efectivas para materiales gruesos, que requieren una penetración profunda de calor, mientras que las frecuencias mayores de 100 a 400 kHz son aptas para piezas pequeñas o para escasa penetración.

Para calentar piezas microscópicas, existen en el mercado fuentes que operan hasta con 60 MHz. Por otra parte cuanto mayor es la frecuencia, más rápidamente se genera el calor.

La potencia de la fuente determina la velocidad relativa del calentamiento. Los equipos de menores potencias (5 – 10 kW), y los de mayores potencia (50 – 250 kW), principalmente estos últimos, requieren la utilización de un sistema de enfriamiento, que circule en todo el equipo, incluido el espiral.

- **La estación de calentamiento:** En la mayoría de las aplicaciones es una estación remota, vinculada a una fuente a través de un cable flexible. Pueden existir modelos en los que la fuente esté distante del sistema de calentamiento por varios metros. Las estaciones poseen una serie de capacitores los cuales tienen la finalidad de regular la frecuencia, para aprovechar mejor la energía.
- **Espiral inductor:** Normalmente están fabricados con tubos de cobre, de diámetros de entre 1/8 "a 3/16 ", y el tamaño y la forma del mismo dependerán de forma exclusiva de la configuración de la pieza a calentar y de las variables de un proceso particular. Un adecuado diseño de la espiral es crítico, para poder aprovechar mejor la transferencia de calor. Los espirales conductores, pueden ser de lazo simple o doble, de perfil helicoidal, redondo, rectangular, interno o externo, con una variedad infinita de espiralados especiales para el

calentamiento, localizados para superficies irregulares, regulares o complicadas.

- **Espirales inductores magnéticos:** Los materiales particularmente ferromagnéticos, se calientan más fácilmente que los materiales no magnéticos, la diferencia entre ambos tipos de materiales es que los magnéticos, ante la presencia de un campo magnético exterior, generan su propio campo magnético que refuerza el exterior. Al variar el campo magnético exterior, la imantación remanente produce la histéresis, que se puede entender como la resistencia natural de los materiales al cambio rápido en el sentido del flujo magnético. Por el contrario, los materiales diamagnéticos generan en sí mismo un campo magnético opuesto, que debilita el campo magnético exterior.

Si bien el calentamiento por inducción es usado normalmente sobre materiales ferromagnéticos, es posible el calentamiento de materiales plásticos y otros no magnéticos, de manera eficiente y rápida, haciendo uso de materiales susceptibles que sean magnéticos. El material susceptible es utilizado para transferir el calor a la pieza o material objetivo a calentar. Los materiales normalmente utilizados son el grafito molibdeno, carburo de silicio, acero inoxidable, aluminio y otros metales.

Aplicaciones del calentamiento por inducción

Se utiliza el calentamiento por inducción en industria de transformaciones metalúrgicas. Entre las aplicaciones del calentamiento por inducción mencionamos las siguientes:

- **Fusión de metales mediante hornos de crisol de inducción:** Consiste esencialmente en un crisol con revestimiento refractario, que contiene material que se derretirá y que está rodeado por la bobina de inducción. La bobina es refrigerado por agua y está rodeado por un núcleo de hierro, para mejorar en acoplamiento magnético¹. En este proceso un metal es fundido en el crisol de un horno. Los beneficios de esta fusión es que es extremadamente rápida, limpia y uniforme. (Efd Induction, 2012).
- **Soldadura por inducción:** Es una técnica de montaje donde dos piezas se unen entre sí por medio de un tercer material que se trae a su temperatura de fusión. Con la soldadura por inducción el calor es inducido electromagnéticamente en el tubo. La velocidad y la precisión de este tipo de soldadura lo hacen ideal para borde de tubos

¹ <http://www.uihm.com/es/Induction-Heating-Technology/Electromagnetic-induction-and-The-Joule-effect172.html>

y tubería. En este proceso, los tubos pasan a gran velocidad por el interior de una bobina de inducción. La soldadura por inducción es particularmente adecuada para grandes producciones. Es un proceso fiable y de alto rendimiento. (Efd Induction, 2012).

- **Enderezado por inducción:** Utiliza una bobina para generar calor localizado en áreas de calentamiento pre-definidas. Al enfriarse estas áreas se contraen y la chapa metálica tira hasta alcanzar una condición más plana. El enderezado por inducción es extremadamente rápido. Este método es muy preciso por lo que se aumenta la productividad. (Efd Induction, 2012).
- **Producción de plasma por inducción:** El plasma es un gas ionizado, lo que significa que algunos o todos los electrones han sido despojados de átomos o moléculas y quedan libres para moverse. El calentamiento por inducción produce plasma por medio de un proceso llamado Plasma Acoplado Inductivamente. Este plasma produce fibra óptica, purifica metales y semiconductores, y produce polvos metálicos, cerámicos y nano polvos. Esta tecnología ha tenido impacto en las industrias de fibra óptica, de cerámica y nano polvos. (Efd Induction, 2012).

- **Forja por inducción:** Se consigue un calentamiento homogéneo del material para un posterior proceso de conformado mecánico. La forja por inducción utiliza para calentar piezas metálicas antes de que estas sean conformadas o deformadas en prensas o martillos. Las ventajas que presenta frente a la forja en horno, es principalmente que la velocidad y la facilidad de control de la inducción garantiza un alto rendimiento. La inducción también minimiza la oxidación y ayuda a mantener la integridad metalúrgica. Al ofrecer calentamiento localizado y preciso produce ahorro de energía. Se usa ampliamente en la industria del metal.(Efd Induction, 2012).
- **Curado de adhesivos por inducción:** El curado por inducción utiliza el calentamiento por inducción para curar adhesivos de encolado. Este es el proceso más usado para el curado de adhesivos y sellado de componentes de automóvil. Es el método preferido de curado en el sector automotriz. Se utiliza tanto para paneles de acero como de aluminio, cada vez se utiliza más en nuevos materiales compuestos y de fibra de carbono. (Efd Induction, 2012).
- **Braseado por inducción:** Es un proceso para unir materiales utilizando un material de aportación para unir dos piezas de metal sin fundir los materiales de base. Este proceso hace que el calor inducido funda la

aportación y que ésta penetre en los materiales de base por capilaridad. El braseado por inducción puede unir una amplia gama de metales tanto férricos como no férricos.

- **Precalentamiento por inducción:** Es un proceso donde los materiales o las piezas son calentadas por inducción antes a un posterior procesamiento. Las razones para este precalentamiento son varias, por ejemplo en la industria de cables y alambre, los núcleos de los cables son precalentados antes de la extrusión del aislamiento. El precalentamiento por inducción es usado en la industria de mecánica, aeronáutica, electrónica, electrodomésticos y de construcción naval.
- **Post calentamiento por inducción:** Se refiere a cualquier proceso donde la inducción se utiliza para calentar piezas o materiales que ya han sido sometidos a un proceso anterior importantes.

Factor de emisión de dióxido de carbono

Al generar un cambio de las cocinas tradicionales, por combustión, a cocinas a inducción se va a generar una reducción del Dióxido de Carbono generado, debido a la no quema de combustibles fósiles para la cocina, pero también es importante tener presente que el utilizar electricidad (MWh), como suministro de energía también genera toneladas de Dióxido de Carbono, las cuales se debe de calcular con la finalidad de poder definir si la cantidad de emisiones a reemplazar

es menor a la existente, para esta razón es necesario conocer el factor emisión actual del Ecuador, referente a la generación eléctrica.

El factor de emisión representa la cantidad de CO₂ que se genera para producir un MWh de electricidad por la red eléctrica Nacional.

Se utiliza para estimar las reducciones de emisiones, por sustitución de un combustible, por electricidad.

El factor de emisión calculado depende de:

- Generación de energía a partir de fuentes renovables conectadas a la red eléctrica.
- Incremento o reducción del consumo eléctrico en la red nacional.
- Actividades que consuman electricidad.

Para poder calcular el factor de emisión de CO₂, es necesario tener claros los siguientes conceptos (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2012):

- **Factor de Emisión:** Es la masa estimada en toneladas emitidas a la atmósfera por cada unidad de energía eléctrica generada en MWh.

- **Sistema Nacional interconectado:** Es el sistema integrado por los elementos del Sistema Eléctrico, conectados entre sí, que permiten la producción y transferencia de energía eléctrica entre centros de generación y consumo
- **Sistema Nacional de Transmisión:** Es el sistema de transmisión de energía eléctrica o medio de conexión entre consumidores y centros de generación, el cual permite el paso de la energía a todo el territorio nacional.
- **Red Eléctrica:** Está referida al Sistema Nacional de Transmisión del Ecuador.
- **Unidad de generación:** Es el equipamiento mínimo que permite generar energía eléctrica a partir de la conversión de energía hidráulica, eólica, térmica, etc. que estén conectadas a la red eléctrica.

Pasos para calcular el factor de emisión

Para poder calcular el factor de emisión de una red eléctrica es necesario seguir los siguientes pasos:

- **Identificación del sistema eléctrico:** Son los sistemas de distribución, generación, auto generadores, grandes consumidores e interconexiones internacionales (Colombia y Perú) que conforman el SIN.

- **Seleccionar si desea incluir las plantas que están fuera del sistema de eléctrico:** El presente cálculo no incluye las unidades que no se encuentran conectadas al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador.
- **Seleccionar un método de cálculo para el margen de operación –OM:**
Para el cálculo del factor de emisión de CO₂ de una red eléctrica debido a su operación, se presenta los siguientes métodos:
 - **El Método OM Simple:** puede ser usado solamente si la generación de energía eléctrica de las plantas de bajo costo de la red eléctrica representa menos del 50% del total de la generación.

El cálculo se lo puede realizar bajo las siguientes opciones:

Opción A: Sobre los datos de la generación neta de electricidad y un factor de emisión de CO₂ de cada unidad de generación,

Opción B: Sobre los datos de la generación neta de todas las centrales eléctricas conectadas la red eléctrica, tipos de combustible y el consumo de combustible total del sistema eléctrico del proyecto. Esta opción se puede utilizar si:

- Los datos para la opción A no están disponibles, o
- Si solo las plantas nucleares y de energías renovables son consideradas como unidades de bajo costo low cost/must run.
- Si las unidades de generación que no están conectadas a la red no son incluidas en el cálculo

Para el caso del SNI, como se indica en la Tabla 2.1, el grupo de unidades de bajo costo representa el 64% en promedio para el periodo 2009-2011, por lo cual este método no es utilizado.

Reacciones del sistema a combustión

La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de puntos en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego. (Perry, Green, & Maloney, 1997)

En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de O_2 gaseoso.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno (ver hidrocarburos). En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, el dióxido de azufre (SO_2) (si el combustible contiene azufre) además pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo de la presión.

Como estamos tratando son temas referentes a combustión de Gas Licuado de Petróleo, es un combustible muy limpio, al decir limpio, nos referimos al hecho de no tener componentes tales como azufre o nitrógeno.

Previo a la obtención de la ecuación estequiométrica, la cual nos indica la relación para generar Dióxido de carbono, necesitamos saber la composición química del gas licuado de petróleo (GLP).

Acorde a la información técnica del Gas licuado de Petróleo, la composición química es una mezcla de dos gases, propano en una proporción del 95% Molar y Butano en una proporción del 5% Molar, es decir al quemar 1 mol de GLP se dan dos reacciones químicas debido a la oxidación de los dos componentes presentes en la mezcla, la diferencia entre un componente u otro radica en su contenido de carbono, el cual va de la mano, de forma directa con la generación de Dióxido de Carbono (CO₂).

Tabla 2: Composición del GLP

Elemento	Fórmula	% Molar
Propano	C ₃ H ₈	95%
Butano	C ₄ H ₁₀	5%

Conforma a la tabla # 2, se aprecia la fórmula de los dos elementos, con estas fórmulas moleculares, se pueden calcular las reacciones químicas de ambos elementos conforme a la siguiente expresión general:

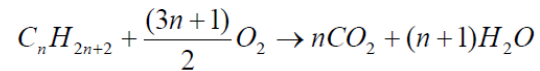


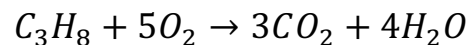
Figura 7: Ecuación General de los alcanos

Donde:

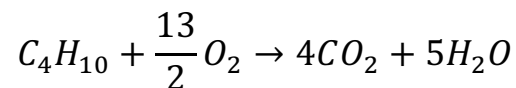
n= Corresponde al número de átomos de carbono que tiene el elemento en su fórmula molecular.

Esta fórmula es válida solo para hidrocarburos de la familia de los alcanos.

Obtengamos la reacción del Propano (C_3H_8), para el propano $n=3$.



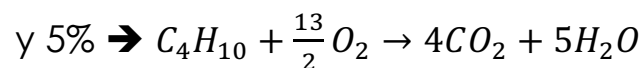
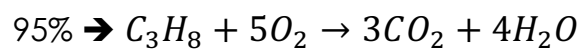
La ecuación del Butano (C_4H_{10}) sería, para el butano $n=4$



Con estas dos ecuaciones y la composición química podemos estimar la producción del Dióxido de carbono (CO_2), por el consumo de gas licuado de petróleo.

La composición química del GLP acorde a la tabla #2 indica que 1 mol de GLP está conformado por 0,95 moles de Propano (C_3H_8) y 0,05 moles de Butano (C_4H_{10})

En otras palabras el quemar un mol de GLP responde de la siguiente manera:



Para poder estimar de forma correcta la cantidad total de emisiones de Dióxido de Carbono (CO_2) es necesario resolver ambas ecuaciones estequiométricas y multiplicarlas por el porcentaje de la composición química, estas operaciones matemáticas se las realizarán en el capítulo número 3, en cual estimaremos las emisiones totales de Dióxido de Carbono (CO_2) en función del consumo de Gas Licuado de Petróleo en el Ecuador.



Balance de energía sistema de inducción

Al igual que todo sistema, el sistema a inducción electromagnética debe respetar las leyes de conservación de la masa y la energía, razón por la cual para poder definir la eficiencia de un sistema comparado con otro se requiere poder realizar el respectivo balance que ayuda a establecer esta línea base.

Es necesario tener claros los siguientes conceptos antes de aplicar los balances de masa y energía respectivos.

- Límites del sistema: Corresponden a los límites en los que se consideran las entradas o salidas de un límite imaginario, para en función de estas entradas y salidas aplicar los balances respectivos.

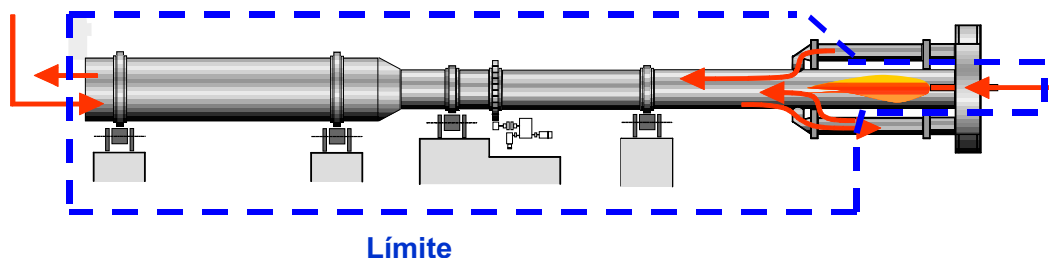


Figura 8: Límite del sistema de horno rotatorio

Estableciendo el límite del sistema, se pueden establecer los flujos de entradas y salidas de energía, toda masa o energía que ingrese al sistema, se contabiliza para poder realizar el balance.

A continuación se presenta el esquema de un sistema de conducción electromagnética.

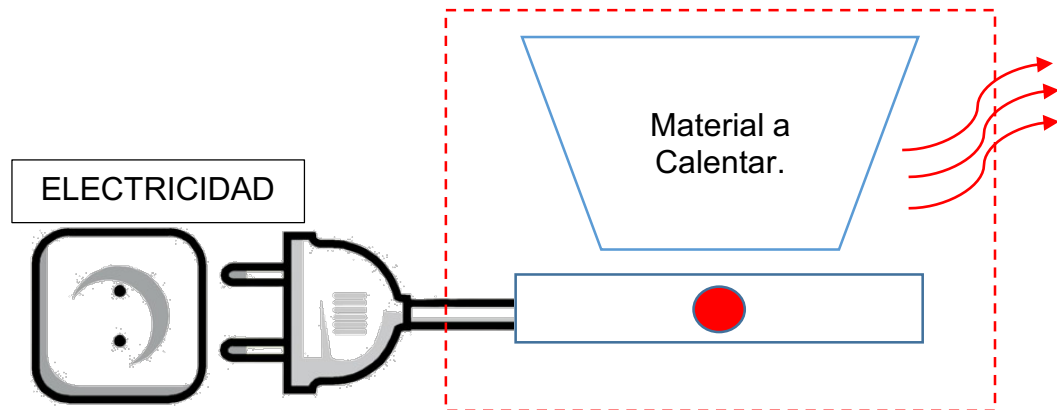


Figura 9: Esquema de entradas/salidas de un sistema a inducción

Conforme a este esquema, se puede plantear la siguiente ecuación, que cumpla la ley de la conservación de la masa y la energía.

La ecuación planteada sería:

$$Energía(Sistema) = Material\ a\ Calentar + Radiación$$

Energía del sistema

La potencia eléctrica, en W, con este valor de potencia se puede calcular la energía que ingresa al sistema, con la siguiente expresión:

$$P(W) = \frac{(J)}{t(s)}$$

Donde:

T: Es el trabajo realizado, que equivale a la energía del sistema, en J

t: Es tiempo requerido para realizar el trabajo, en s

P: Es el ratio de energía entregado al sistema por unidad de tiempo, en vatios = J/s

Energía del material

El material a calentar debe responder a las leyes de la termodinámica, la ecuación básica de energía son las siguientes:

$$Q_{material}(J) = m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda$$

Donde:

m: Es la masa del material (en kg)

m_{ev}: Masa de material evaporado (en kg)

Cp: Capacidad calorífica del material (en kg/kj*°C)

T_{cal}: Temperatura de calentamiento (en °C)

T_{amb}: Temperatura ambiente (en °C)

λ: Calor de vaporización del material (en kJ/kg)

Radiación

La radiación a la transmisión de calor entre dos cuerpos los cuales, en un instante dado, tienen temperaturas distintas, sin que entre ellos exista contacto ni conexión por otro sólido conductor. Es una forma de emisión de ondas electromagnéticas (asociaciones de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a la velocidad de la luz) que emana todo cuerpo que esté a mayor temperatura que el cero absoluto, el cálculo de la radiación responde a la siguiente expresión:

$$Q_{\text{radiación}}(J) = \alpha_{\text{total}} * A * (T_{\text{mat}} - T_{\text{amb}})$$

Donde:

α : Es el coeficiente de transmisión de calor del material, en W/m²°C

A: Es el área de contacto, en m²

T_{mat}: Es la temperatura del área de contacto, en °C

T_{amb}: Corresponde a la temperatura ambiental, en °C

Igualando Ecuaciones

Con los análisis realizados se tienen las siguientes ecuaciones:

Ecuación del balance general de energía → $Energía_{(Sistema)} =$

$Mat. a Calentar + Rad$

Energía Sistema → $T(J)$

Energía del material $\rightarrow Q_{material}(J) = m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda$

Radiación $\rightarrow Q_{radiación}(J) = \alpha_{total} * A * (T_{mat} - T_{amb})$

$$T(J) = m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda + \alpha_{total} * A * (T_{mat} - T_{amb})$$

Con este balance de energía se procede a calcular la energía requerida por un determinado sistema.

Esta ecuación aplica tanto para el sistema a inducción como para el sistema a combustión, debido a que la energía requerida por un material para ambos sistemas es la misma, en vista de que las propiedades termodinámicas no varían de un sistema a otro.

Con este valor teórico se procede a calcular la eficiencia de cada sistema, para calcular la eficiencia, se compara el valor suministrado con el valor calculado.

Balance de energía sistema a combustion

Los principios de conservación de la energía se mantienen independientemente del tipo de sistema, la energía no se destruye ni se construye, solo se transforma.

En un sistema a combustión existen los mismos requerimientos de energía que en el sistema a inducción, es decir la ecuación es la misma.

Ecuación del balance general de energía $\rightarrow$ $Energía_{(sistema)} = Mat.a\ Calentar + Rad$

Energía Sistema $\rightarrow T(J)$

Energía del material $\rightarrow Q_{material}(J) = m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda$

Radiación $\rightarrow Q_{radiación}(J) = \alpha_{total} * A * (T_{mat} - T_{amb})$

$$T(J) = m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda + \alpha_{total} * A * (T_{ma} - T_{amb})$$

La diferencia entre un sistema y otro, es la fuente de la que proviene la energía.

Calculo de eficiencia de los sistemas

En el punto anterior, se calculó la energía teórica del sistema, con el cálculo teórico y el valor real se puede definir la eficiencia de un sistema, acorde a la segunda ley de termodinámica, la eficiencia de un sistema se mide en función del trabajo que puede realizar comparándolo con la energía suministrada al sistema.

La expresión de la segunda ley de la termodinámica establece lo siguiente:

$$e = \frac{T}{Q} * 100$$

Donde:

T= Es el trabajo realizado por el sistema, en kJ

Q= La energía suministrada, en kJ

e= Es la eficiencia (%)

Con esta expresión se calcula la eficiencia para cada sistema, el trabajo teórico es el mismo, y responde a la expresión que ya hemos calculado por ambas vías (inducción; combustión).

$$T(J) = m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda + \alpha_{total} * A * (T_{mat} - T_{amb})$$

El valor del calor suministrado varía de sistema a sistema.

En el caso de la combustión el calor suministrado corresponde a la siguiente expresión:

$$Q(J) = m_{comb} * PC_{comb}$$

Donde:

m_{comb}= Es la masa de combustible quemado en el sistema, en g

PC_{comb}= Es el poder calorífico del combustible en J/g

Para el caso del sistema a inducción, la energía suministrada responde a la siguiente expresión:

$$P \left(\frac{J}{s} \right) = \frac{T(J)}{t(s)}$$

Donde:

P= Es la potencia máxima que puede brindar el sistema en watt (J/s)

T= Es el trabajo que puede realizar el sistema con la potencia instalada (J)

t= Es el tiempo requerido para realizar determinado trabajo en s.

Unificando ambas ecuaciones se tiene las siguientes expresiones de eficiencia para cada sistema:

- Inducción:

$$e = \frac{m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda + \alpha_{total} * A * (T_{mat} - T_{amb})}{P * t} * 100$$

- Combustión:

$$e = \frac{m * Cp * (T_{cal} - T_{amb}) + m_{ev} * \lambda + \alpha_{total} * A * (T_{mat} - T_{amb})}{m_{comb} * PC_{comb}} * 100$$

Las expresiones son muy similares solo difieren en la forma de suministrar la energía. Es importante conocer la eficiencia de cada sistema para después compararlos con la misma base, corrigiendo cada sistema con el valor calculado de eficiencia.

Cálculo de emisiones de dióxido de carbono para cada sistema

El Dióxido de Carbono (CO_2), particularmente se genera por combustión de combustibles fósiles. Al cambiar las cocinas a combustión (GLP) por cocina a inducción la cantidad de CO_2 generada se reduce de forma considerable, debido a que se deja de consumir GLP.

Pero la energía eléctrica también genera CO_2 , el cual está en función del combustible fósil que se utilice para producir los kilowatios requeridos, por la tecnología a Inducción. Para comprender mejor lo que tratamos de explicar observemos el siguiente gráfico:

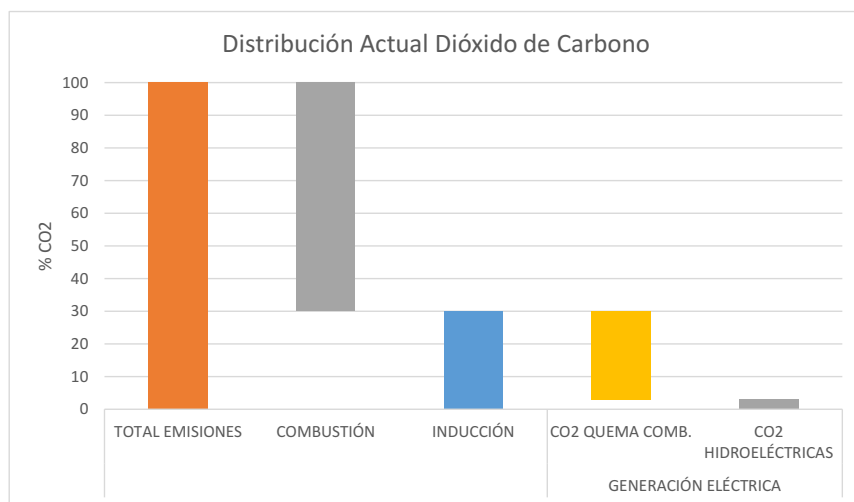


Figura 10: Distribución del CO2

En la figura # 10 se muestra que cerca el 70% de los gases generados por la combustión, en la cocción de alimentos se genera por las cocinas convencionales, mientras que si se cambia la tecnología a cocinas a inducción, se puede reducir el 60% de esta emisión solo por cambiar de tecnologías, asumiendo que el cambio se realiza pero la electricidad producida por este sistema proviene de la quema de combustibles fósiles. Esto es debido a la mayor eficiencia de las cocinas a inducción, comparado con las cocinas a combustión.

Es por esta razón que el beneficio de cambiar las cocinas a combustión por inducción, debido a la alta eficiencia del sistema, genera un beneficio de reducción de toneladas de Dióxido de Carbono (CO₂).

Consumo de gas licuado de petróleo en Ecuador

El Ecuador ha experimentado un crecimiento sustentable de energía en los últimos años, este crecimiento que bordea un aproximado del 2% anual, es directamente proporcional a las emisiones de Dióxido de Carbono usadas por el consumo de gas licuado de petróleo.

El comportamiento del consumo se aprecia en la siguiente gráfica:

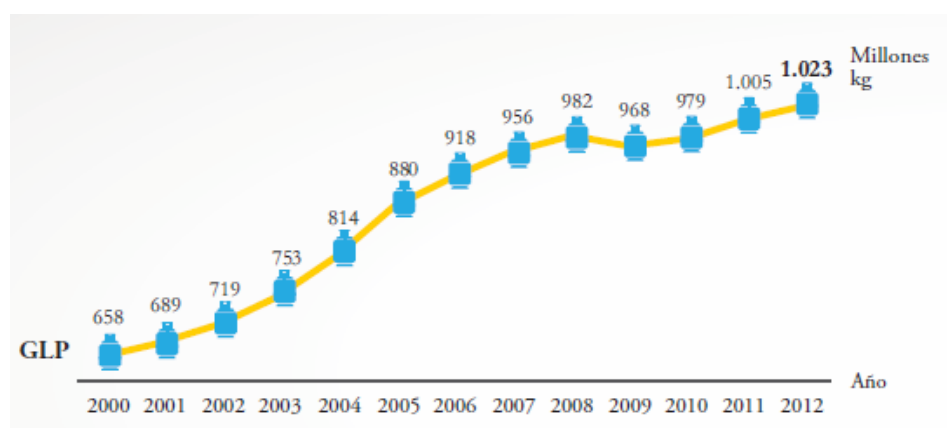


Figura 11: Demanda de GLP, Fuente: Ministerio de coordinación Sectores Estratégicos

Acorde a la gráfica, en Ecuador existe un consumo de 1023 Mill de Kg de GLP, además este rubro corresponde al 8% de la energía total que el país consume, de los 1023 Mill el 90,6% se utiliza para el consumo del sector residencial en Ecuador. En la siguiente gráfica se aprecia la distribución de la energía en el Ecuador.

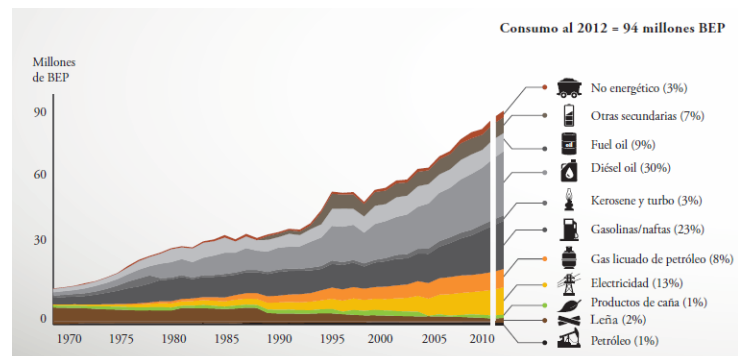


Figura 12: Consumo de Energía, Fuente: Ministerio de coordinación Sectores Estratégicos

Como se aprecia en la gráfica, el GLP corresponde al 8% del consumo de Barriles equivalentes de Petróleo en el Ecuador, con el cambio de los equipos de cocción de alimento el beneficio consiste en reducir el consumo total de Barriles equivalentes de Petróleo (BEP), y la energía usada en la cocción se debe sumar a la electricidad, los factores de emisión son diferentes y esta diferencia produce una reducción de emisiones, particularmente Dióxido de Carbono (CO₂).

Uno de los objetivos estratégicos del país es poder cambiar la matriz productiva, reduciendo el consumo de combustibles fósiles, y utilizar tecnologías más eficientes, al menos en teoría la expectativa es que la diferencia de eficiencia entre un sistema y otro (inducción y combustión), debe ser mayor al 20%.

Las eficiencias teóricas del sistema son las siguientes:

Tabla 3: Eficiencias Teóricas de los sistemas

Tipo de energía	% Eficiencia
Combustión	Del 60% al 70%
Eléctrica	> al 85%

Por estas expectativas de eficiencia, el país está migrando a tecnologías más limpias, que consigan un ahorro general en emisiones y en BEP. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

Resultados

Acorde a la información recabada de la revista líderes en su artículo subsidios Ecuador, (<http://www.revistalideres.ec/lideres/subsidio-opaca-negocio-gas.html>), en el 2014 Ecuador presentó un consumo aproximado de 1090043 TM de Gas Licuado de Petróleo y conforme al informe presentado en el 2013 por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, el 90,6 % de consumo del gas licuado de petróleo corresponde al sector residencial (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013), particularmente al consumo para cocción de alimentos. El consumo de gas natural en el Ecuador se distribuye de la siguiente forma:

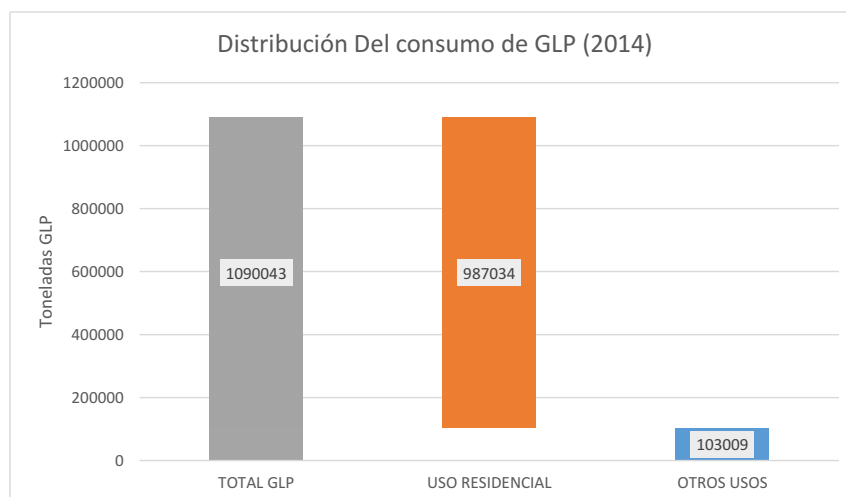


Figura 13: Consumo GLP 2014, Fuente Coordinador de Sectores Estratégicos

En el presente estudio le pondremos principal énfasis al consumo de GLP destinado al uso residencial, el cual principalmente es la cocción de alimentos. Con este valor se procede a calcular las emisiones totales de Dióxido de Carbono generadas por el GLP.

Acorde a la composición química del GLP (95% Propano y 5% Butano), se procede a calcular el valor total de moles de Dióxido de Carbono generado por cada elemento.

Para realizar los cálculos se requieren los siguientes datos:

Tabla 4: Datos Para estimación de Emisiones (CO₂)

Parámetro	Unidad	Valor
Consumo Anual GLP	t	987034
Peso Molecular Propano (C ₃ H ₈)	t/kmol	0,044
Peso Molecular Butano (C ₄ H ₁₀)	t/kmol	0,058
Peso Molecular Dióxido Carbono (CO ₂)	t/kmol	0,044
% Propano en GLP	%	95%
% Butano en GLP	%	5%

Para utilizar las ecuaciones estequiométricas es necesario llevar todos los valores a unidades molares.

Las 987034 t se componen de la siguiente forma:

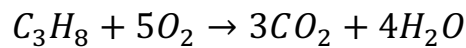
$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{GLP}} \quad \boxed{\text{Propano (95\%)}} \quad \boxed{\text{Butano (5\%)}} \\
 \hline
 987034t = 937682t + 49352t
 \end{array}$$

Con las toneladas de propano y butano se pueden calcular los moles.

Emisión de dióxido de carbono por propano

Se requieren las ecuaciones estequiométricas del propano, para poder calcular las toneladas totales de Dióxido de Carbono (CO₂).

La ecuación estequiométrica del propano es la siguiente:



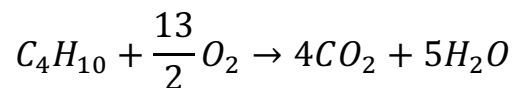
Con esta ecuación y las toneladas de propano vamos a calcular las toneladas de Dióxido de carbono que se generan en un año.

$$\begin{aligned} 937682t \ C_3H_8 * \frac{1 \ kmol - C_3H_8}{0,044t - C_3H_8} * \frac{3 \ kmol - CO_2}{1 \ kmol - C_3H_8} * \frac{0,044 \ t \ CO_2}{1 \ kmol - CO_2} \\ = 2813046 \ t \ CO_2 \end{aligned}$$

Emisión de dióxido de carbono por butano

Se requieren las ecuaciones estequiométricas del propano, para poder calcular las toneladas totales de Dióxido de Carbono (CO₂).

La ecuación estequiométrica del propano es la siguiente:



Con esta ecuación y las toneladas de propano vamos a calcular las toneladas de Dióxido de carbono que se generan en un año.

$$49352t \text{ } C_4H_{10} * \frac{1 \text{ kmol} - C_4H_{10}}{0,058t - C_4H_{10}} * \frac{4 \text{ kmol} - CO_2}{1 \text{ kmol} - C_4H_{10}} * \frac{0,044 t \text{ } CO_2}{1 \text{ kmol} - CO_2}$$

$$= 149758 t \text{ } CO_2$$

Emisión total por kilogramo de gas licuado de petróleo

Con los cálculos realizados en los puntos 3.1 y 3.2 se puede calcular la cantidad de kilogramos de Dióxido de Carbono por kilogramo de gas licuado de petróleo quemado.

Total de Dióxido de carbono generado:

Tabla 5: Cuadro de resumen de Emisiones (CO₂)

Elemento	Unidad	Dióxido de Carbono
Propano	t	2813046
Butano	t	149758
Total emisiones	t	2962804

Acorde a la tabla 5, las 987034 t de GLP quemadas generaron 2962804 t CO₂, si se genera un índice, este sería:

$$F_{emisión} = \frac{2962804 t \text{ } CO_2}{987034 t \text{ } GLP} = 3,0 \text{ kg } CO_2 / \text{kg } GLP$$

Este factor indica que por cada kilogramo de Gas Licuado de Petróleo combustionado se generan 3,0 kilogramos de Dióxido de Carbono.

Eficiencias de los sistemas

Conforme a la metodología aplicada en el capítulo número 2, se procede a calcular la eficiencia de cada sistema, con la finalidad de determinar el ahorro potencial por el cambio de tecnologías.

Para calcular la eficiencia de cada uno de los sistemas se procede a calcular el calor teórico requerido para evaporar 1 kg de agua.

Los datos termodinámicos del agua son los siguientes:

Tabla 6: Propiedades termodinámicas del Agua, (Perry et al., 1997)

Propiedad	Unidad	Valor
Capacidad Calorífica (Cp)	kJ/kg °C	4,186
Lambda	kJ/kg	2240
Temp. Ebullición	°C	100
Temp Ambiente	°C	28

La energía requerida para evaporar 1 kg de agua se plantea acorde la siguiente ecuación:

$$Q_{Teórico} = 1kg * 4,186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (100 - 28)^{\circ}C + 1kg * \left(2240 \frac{kJ}{kg} \right) = 2541 kJ$$

Independientemente del sistema que se utilice para calentar se requieren para evaporar 1 kg de agua 2541 kJ de energía.

Combustión

Por definición general se conoce que la eficiencia no es más que el calor teórico requerido dividido para el calor suministrado, ya se posee el calor teórico requerido ($Q_{\text{teórico}}$) nos falta encontrar el calor suministrado (Q_{Real})

El calor real es directamente proporcional a la masa de combustible consumida, este flujo de energía responde al producto de la masa de GLP consumido en la evaporación del litro de agua por el poder calorífico de GLP:

$$Q_{\text{Real}} = m_{\text{comb}}(kg) * PC\left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

La masa se la obtiene pesando el cilindro de gas, antes de evaporar el kilo de agua y después de evaporar el kilo de agua, la diferencia de peso corresponde al gas consumido para realizar la evaporación, para esta experiencia la diferencia fue de 0,082 kg, el poder calorífico acorde a la MSDS del GLP es de 45334,4 kJ/kg, con estos datos se puede obtener el calor real suministrado.

$$Q_{\text{Real}} = 0,082(kg) * 45334,4\left(\frac{kJ}{kg}\right) = 3717 kJ$$

Con estos datos la eficiencia del sistema es:

$$e(\%) = \frac{2541 \text{ kJ}}{3717 \text{ kJ}} * 100 = 68,4\%$$

Inducción

La definición de eficiencia es igual para cualquier sistema, calor teórico requerido ($Q_{\text{teórico}}$) sobre el calor suministrado (Q_{Real}) por 100.

Falta encontrar el calor real suministrado en el sistema a Inducción, para esto usamos el medidor, con la finalidad de encontrar la potencia suministrada por el sistema durante la evaporación del agua.

Para calcular la potencia se requiere el tiempo requerido por el sistema para evaporar el litro de agua, la potencia usada en ese tiempo.

El tiempo requerido fue de 42 min y la potencia suministrada fue de 1,62 kw/h, esta potencia corresponde a la energía que usaría el sistema en una hora, la energía suministrada es proporcional, debemos encontrar la potencia en los 42 min de trabajo, la cual responde al siguiente cálculo:

$$42 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1,62 \text{ kw}}{1 \text{ hora}} = 1,134 \text{ kw}$$

En los 42 minutos el sistema usó la potencia de 1,134 kw, para conocer el trabajo realizado se usa la siguiente ecuación:

$$P(kw) = \frac{w(kJ)}{t(s)}$$

$$1,134(kw) = \frac{w(kJ)}{42 * 60(s)}$$

Despejando el trabajo realizado, que es equivalente al calor suministrado tenemos:

$$w(kJ) = 1,134 * 42 * 60 = 2858 \text{ kJ}$$

Con este dato se procede a calcular la eficiencia del sistema:

$$e(\%) = \frac{2541 \text{ kJ}}{2858 \text{ kJ}} * 100 = 88,9\%$$

Calculo de ahorro en emisiones por eficiencia

Actualmente nuestro país requiere generar energía a través de consumo de combustibles fósiles, las hidroeléctricas no se encuentran implementadas en su totalidad, falta principalmente Coca Codo Sinclair que estiman estará lista a finales de este año (2016), es decir que la energía usada por el cambio de los sistemas de inducción actualmente vendría del consumo de combustible fósiles, lo cual generaría emisiones ya no directamente en la cocción de alimentos sino en la generación de energía.

Las emisiones por combustión ya están listas, las emisiones por inducción responden a la siguiente expresión:

$$\frac{2962804 \text{ t CO}_2 * 0,684}{0,889} = 2273840$$

Se multiplica el valor total de CO₂ por la eficiencia del sistema, debido a que este sería el CO₂ generado por el trabajo realizado, y se lo divide para la eficiencia del sistema a inducción debido a que se desea cuantificar el CO₂ total de este sistema, es decir al 100%.

El ahorro se detalla a continuación:

Tabla 7: Detalle emisiones de CO₂

Sistema	Unidad	Valor
Combustión	t CO ₂ /año	2962804
Inducción	t CO ₂ /año	2273840
Ahorro	t CO ₂ /año	688964

Actualmente Ecuador tiene 14000000 de habitantes, el ahorro por habitante sería:

$$\frac{\frac{688963 \text{ t}}{\text{año}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{14000000 \text{ hab}} = 49,2 \frac{\text{kg}}{\text{hab} - \text{año}}$$

Potencia adicional requerida

Acorde a la información suministrada por Ministerio Coordinador de Energía, un kilogramo de GLP equivale a 13,8 kwh de generación eléctrica.

El potencial consumo sería:

$$t \text{ totales GLP} * \frac{13,8 \text{ kwh}}{0,001 \text{ t GLP}} * \frac{\text{eff} - \text{Combustión}}{\text{eff} - \text{Inducción}}$$

$$987034 \text{ t GLP} * \frac{13,8 \text{ kwh}}{0,001 \text{ t GLP}} * \frac{68,4\%}{89,1\%} = 13206514070 \text{ kwh}$$

La potencia requerida adicional sería:

$$\frac{13206514070 \text{ kwh}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 * 24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ Mw}}{1000 \text{ kw}} = 1157 \text{ Mw}$$

- Con el cambio de sistema, inducción por combustión, existe una potencial reducción de 688963 tonelada de Dióxido de Carbono por año, solo por el hecho de usar un sistema más eficiente.
- La relación específica de ahorro es de $49,2 \frac{\text{kg}}{\text{hab-año}}$ es la cantidad potencial a aportar en el factor de emisión actual para el Dióxido de Carbono.

- Para poder realizar toda esta migración de un sistema a otro, es necesaria una potencia adicional del sistema actual de electricidad, una potencia de 1157 Mw.
- El presente estudio debe ser actualizado conforme se incorporen al sistema de electricidad nacional las hidroeléctricas, debido a que actualmente la potencia puede ser suplida por la generación eléctrica pero utilizando combustibles fósiles, más no hidroeléctricas, que producen una generación de energía más limpia.



Bibliografía

Aida aracely flores nolasco. (2009).

Campo magnético. Electromagnetismo 1. (n.d.), (s XVI), 1–16.

Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. (2012). Informe 2012, 341.

Corrientes, Z., Aplicaciones, T., Faraday, M., Henry, J., Unidos, E., & Artes, B. (1831). Experiencias de FARADAY, 1–18.

Efd Induction. (2012). Aplicaciones de calentamiento por inducción, 6–8.

Electricidad, M. Y. (n.d.). CAMPO MAGNÉTICO.

Electromagnetismo : Magnetismo. (2000), 1–15.

Executivo, C., Legais, R., & Requisitos, O. (2010). Índice 1 -. *Herpetofauna*.

Haimbaugh, R. E. (2001). Theory of Heating by Induction. *Practical Induction Heat Treating*, 5–18.

Ministerio Coordinador de Sectores Estrategicos. (2013). Resumen. *Balance Energético Nacional*, 46.

Perry, R., Green, D., & Maloney, J. (1997). *Perry's chemical engineers' handbook. Journal of Chemical Education*.

Raymond A. Serway. (2011). *ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO* (Tercera).

Ing. Margarita Espinoza MSc.

Ingeniera química graduada en la Universidad de Guayaquil, Master en Gestión Ambiental con perfil orientado a la planificación y control de proceso productivo en la industria, con años de experiencia en tratamientos de agua residual e industrial y en gestión ambiental. Complemento académico profesional, estudios en tecnología de alimentos graduada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral

Ing. Judith Flores MSc.

En el año 2003 se incorpora como Ingeniera Química de la Facultad de Ingeniería Química, en la Universidad de Guayaquil. Trabajó en el campo de Radiaciones Ionizantes hasta el 2010, luego incursiona en la empresa privada, en donde obtiene más experiencia en áreas como la industria Cementera y de Telecomunicaciones. Paralelamente es parte del equipo de Docentes Universidad de Guayaquil, brindando su aporte en proyectos de investigación y docencia.

Ing. Wilfrido Quiñonez MSc.

Ingeniero Químico, Máster en Sistemas Integrados, Seguridad, Ambiente y Calidad, con más de 25 años de experiencia en la empresa privada, desarrollando habilidades de liderazgo, optimización de recursos y logros de objetivos en las áreas de Producción, Calidad y Ambiente, en Producción de Alcohol y Dióxido de Carbono.

ISBN: 978-9942-33-094-9



compAs