

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales

TRABAJO DE DIPLOMA

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

Autor: Pedro Osmany Alfonso Reyes

Tutor: Ing. Yaniel Garcia Lovella

Santa Clara, Junio de 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419



Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial
Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías ambientales

Trabajo de diploma

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

Autor: Pedro Osmany Alfonso Reyes

Tutor: Ing. Yaniel Garcia Lovella

Santa Clara
2017-2018



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

PENSAMIENTO

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

PENSAMIENTO

*“Nunca consideres el estudio como una obligación,
sino como una oportunidad para penetrar en el
bello y maravilloso mundo del saber”*

Albert Einstein

DEDICATORIA

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

DEDICATORIA

A mi mamá Mabel Reyes y a mi papá Osmany Alfonso por su sacrificio y dedicación incondicional en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser mis guías en el camino de la vida.

A mi tía Dayami por ayudarme siempre, darme tantas fuerzas, y ser mi segunda mamá.

A toda mi familia y amigos por su preocupación constante y confianza de que esta meta la podía alcanzar.

A mi tutor Yaniel García por sus consejos y conocimientos brindados para que este proyecto pudiera realizarse.

RESUMEN

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se realiza un estudio en una planta de generación de electricidad. Aquí se implementa un modelo matemático apoyado en Matlab. Los métodos utilizados fueron un balance de primera ley, el cual se comparó con los resultados obtenidos en Matlab, con el objetivo de determinar la energía teóricamente recuperable. Los resultados obtenidos arrojaron que existen similitudes en las comparaciones, dando como únicos inconvenientes picos en las curvas. Esto se debe a la salida de funcionamiento de los motores, ya sea por rotura, mantenimiento o la carga a generar.

ABSTRACT

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

ABSTRACT

In the present work of diploma a study is made in a power generation plant. Here a mathematical model supported by Matlab is implemented. The methods used were a first law balance, which was compared with the results obtained in Matlab, in order to determine the theoretically recoverable energy. The results obtained showed that there are similarities in the comparisons, with the only disadvantages being peaks in the curves. This is due to the output of the engines, whether due to breakage, maintenance or the load to be generated.

ÍNDICE

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general:	2
Fundamentos teóricos de la investigación.....	4
Cap I: Fundamentos teóricos de la investigación.	23
1.1- Introducción	23
1.2- Descripción de la Planta Santa Clara 110	25
1.1.2 Descripción del sistema de almacenamiento de combustible	26
1.1.3 Características del combustible (fuel oil).....	28
1.1.4 Características del Motor Hyundai HIMSEN H21/32.....	29
1.2. Cogeneración	30
1.2.1. La cogeneración en las plantas de generación de electricidad	31
1.3 Series de tiempo	35
1.3.1 Redes neuronales artificiales	36
1.3.2 Elementos básicos que componen una red neuronal	36
1.3.3 Análisis de series de tiempos con Redes Neuronales Artificiales (RNA)	37
Conclusiones parciales:	39
Desarrollo del modelado de potenciales de energía térmica teóricamente disponible, en plantas de generación distribuida basada en motores de combustión interna.	40
Capítulo II: Desarrollo del modelado de potenciales de energía térmica teóricamente disponible, en plantas de generación distribuida basada en motores de combustión interna.	41
2.1 Balance de energía en la planta de generación	41
2.2- Modelación de la energía térmica teóricamente disponible.....	44
Conclusiones parciales:	47
Análisis de los resultados	48
CAPÍTULO III: Análisis de los resultados.....	49
3.1 Introducción	49
3.2 Potencias térmicas determinadas en Matlab.....	49
3.4 Comparación de la energía teóricamente disponible por: Balance de primera ley versus Matlab.	51
Conclusiones generales	62
Recomendaciones	63
Bibliografía	64

INTRODUCCIÓN

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

INTRODUCCIÓN

La generación de electricidad tanto en los países desarrollados como en los subdesarrollados se basa mayormente en la quema de combustibles fósiles. También se utilizan otras fuentes de generación como, las centrales nucleares o hidroeléctricas. Esta energía generada a partir de la quema de combustibles fósiles se logra en las termoeléctricas, las cuales se encuentran en lugares aislados cerca de donde se obtienen los combustibles. Dichas centrales constan de un rendimiento energético y medioambiental muy bajo, ya que transmiten la energía a muy largas distancias.

En la actualidad la generación en nuestro país está centrada en ocho grandes plantas termoeléctricas que generan la electricidad a partir de la quema de fuel oil, estas abarcan el 64% del consumo del país, un 15% se cubre en la empresa mixta ENER GAS que genera la electricidad a partir del gas acompañante asociado al petróleo cubano, un 10% con grupos de electrógenos Fuel y otro grupo de electrógenos diésel.(Martínez, 2014)

La generación distribuida da otro enfoque a la matriz energética del país, ya que la generación a pequeña escala se instala cerca del lugar de consumo. Teniendo que, la producción de electricidad con instalaciones suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico. También es posible conectar la generación directamente a las redes de distribución.(Marielys Francisco Fernández, marzo 2010)

Desde el comienzo de la revolución energética Cuba empezó la construcción de centros de energía distribuida, logrando que llevar la energía lo más cercano posible a las fuentes consumidoras. De esta manera la generación distribuida presta servicios de forma continua durante 24 horas ininterrumpidas como generación base; de forma intermitente para servicios donde es necesario equilibrar los consumos y cubrir los picos de consumo, y como servicio de emergencia en hospitales, policlínicos y panaderías.(Marielys Francisco

Fernández, marzo 2010). La generación distribuida se basa en la utilización de motores de combustión interna, Motores-Generadores Hyundai, los cuales tienen como combustible primario fuel oil. Para el logro de su consumo los motores arrancan con diésel, precalentando el fuel oil a una temperatura óptima para su bombeo y consumo. Dichos motores constan de una eficiencia superior al 40%, sus reparaciones se realizan cuando su trabajo alcanza las 12 000 a 50 000 horas de trabajo y durante su uso los subproductos obtenidos son agua caliente y vapor a baja presión.(Giangrandi, 2011)

Estos motores de combustión interna como otros rechazan calor, ya sea por el sistema de enfriamiento que puede ser por aire, agua y aceite. También depende del diseño y el tipo de material con el que se fabricó. El motor puede tratarse como una malla térmica donde el calor puede disiparse en lugares concentrados, pistón, culata y cilindro.(Monroy, Junio de 2014). La pérdida más importante a la hora de hablar de rechazo de calor es la que se va por los gases de escape, debido a las altas temperaturas que salen de la cámara de combustión.(Leiva, 2010b).

Problema de ingeniería:

En las plantas de generación de electricidad basadas en motores de combustión interna del tipo Hyundai H21/32, se desconoce el potencial de energía térmica teóricamente disponible, tomando en cuenta la variabilidad operacional de cada motor de las baterías.

Objetivo general:

Modelar los potenciales de energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

Objetivos específicos:

- Realizar una búsqueda bibliográfica relacionada a las principales características de las plantas de generación descentralizada basada en

motores de combustión interna y su modelación en aras de estimar los potenciales globales de energía térmica teórica disponible.

- Desarrollar un modelo para para estimar la energía térmica teóricamente disponible, en una planta de generación distribuida, teniendo en cuenta los estados de cargas diarios de cada uno de los motores de la planta.
- Determinar la energía térmica teóricamente disponible en la planta de generación de electricidad Santa Clara 110.

CAPÍTULO I

Fundamentos teóricos de la investigación

Cap I: Fundamentos teóricos de la investigación.

1.1- Introducción

Para la satisfacción de la demanda de energía eléctrica en Cuba se hace necesario la implementación de fuentes alternativas. Un poco antes de la construcción de las plantas de energía distribuidas se fue introduciendo algunas de las llamadas energías renovables, dándole un mayor soporte a la red eléctrica del país. Dichos sistemas eran la energía fotovoltaica, eólica e hidráulica.

La energía fotovoltaica se introduce a partir del derrumbe del campo socialista. Estos sistemas comenzaron a instalarse fundamentalmente en consultorios del médico de la familia, escuelas y zonas rurales. La energía eólica es un recurso que se empieza a utilizar en el bombeo de agua para darle de beber a los animales que pastaban. Hoy en día se utiliza mayormente en la generación de electricidad. Las provincias donde se ha implementado el uso de la energía son Holguín (Gibara 1 y 2), Ciego de Ávila (Tiriguanó) e Isla de la Juventud (Canarreos). La energía hidráulica en Cuba proviene de la zona montañosa, actualmente en la provincia de Cienfuegos se encuentra la central hidroeléctrica más grande del país con capacidad instalada de 43 MW.

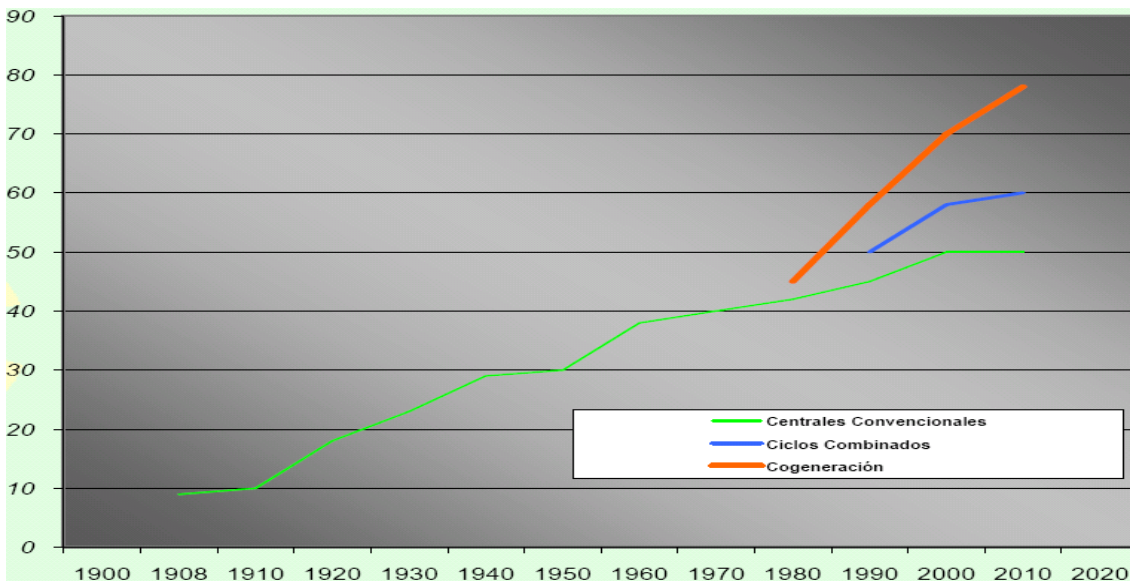
A consecuencia de las condiciones a las que está sometida Cuba, los investigadores cubanos se han visto en la necesidad de obtener un mejor aprovechamiento de los combustibles fósiles. Para ello se estudia la manera de cómo obtener la energía de los gases de escape en los motores de combustión interna, que en un final ello contiene 30 % - 50 % de la energía del combustible. El aprovechamiento de este calor residual en estos motores sería muy conveniente porque se puede obtener agua caliente, vapor o frío. En un principio estos no fueron diseñados para esta función, pero se le puede sacar provecho sin desviarnos de su principal función que es la generación de energía eléctrica. Según el grupo de estudios de cogeneración de la Universidad Central de las Villas los motores utilizados en el país constan con las siguientes cantidades de energía que se puede aprovechar.(Díaz., 2013).

Tabla 1.1.1 Balance de energía de los grupos electrógenos trabajando a un 85% de carga utilizados en Cuba.(Díaz., 2013)

Marca	Combustible	Pot. (MW)	Qg (MW)	Qref (MW)	Qrest (MW)	Qcomb (MW)
Hyundai	Fuel oil	1.45	1.32	0.56	0.10	3.48
MAN	Fuel oil	3.7	3.00	1.26	0.23	7.88
MTU	Diésel	1.37	1.43	0.60	0.31	3.76
Guascor	Diésel	0.58	0.63	0.27	0.16	1.66
Scania	Diésel	0.26	0.27	0.11	0.06	0.70

Teniendo en cuenta que en los sistemas de cogeneración se puede aprovechar hasta el 84% de la energía contenida en el combustible, en la gráfica 1 se hace una comparación de la eficiencia que se puede alcanzar entre los diferentes sistemas de generación de electricidad, en cual se observa con claridad la gran importancia de cogenerar en el ahorro de energía.(Barrera, 2003).

Gráfico 1.1.1 Eficiencia de la generación eléctrica en centrales convencionales, ciclos combinados y cogeneración. Fuente: Agencia Internacional de Energía.(CONAE, 2012)



Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

1.2- Descripción de la Planta Santa Clara 110

El emplazamiento Santa Clara 110 se encuentra ubicada carretera Subplanta, entre Circunvalación y Fábrica de Pienso, la misma cuenta con un equipamiento de tres baterías, cada una consta con cuatro motores de combustión interna Hyundai HIMSEN H21/32. Cada batería consta de un sistema HTU y una caldera recuperativa.

Dentro del área que ocupa la Central Eléctrica se encuentran:

- Área de recepción de combustible y el aceite.
- Área de almacenamiento de combustible, el aceite y el lodo.
- Área de Generación Eléctrica.
- Casa de bomba y tratamiento de combustible
- Una unidad de tratamiento de agua para calderas.
- Sistema de tratamiento de aguas oleosas.
- Área de Calderas (3 calderas recuperativas)
- Edificaciones socio administrativo.
- Un punto de custodio.

Misión de la Planta Santa Clara 110

Garantizar la generación eficiente y sustentable de energía eléctrica en régimen base con motores de combustión interna respondiendo a los requisitos del SEN con profesionalidad y confiabilidad.(110, 2017b)

Objeto social de la instalación

- Generar energía eléctrica
- Brindar servicios técnicos vinculados al mantenimiento, reparación, montajes industriales incluidos la parte civil y modernizaciones de calderas, turbocompresores, generadores eléctricos, transformadores, motores, bombas y equipamiento industrial.

- Fabricar, reparar y comercializar equipos, componentes, partes y piezas de repuesto de grupos electrógenos.(110, 2017b)

Objetivos de trabajo de la instalación

Objetivo 1: Elevar el papel estratégico de la gestión de capital humano a partir del uso eficiente de los recursos humanos y la seguridad y salud en el desempeño de sus funciones

Objetivo 2: Realizar el papel estratégico de los talleres especializados como herramienta para garantizar la sostenibilidad del equipamiento de los indicadores de eficiencia en la Central Eléctrica.

Objetivo 3: Alcanzar una generación de 298.3 GWh logrando un consumo específico de 215.5 g/kWh acumulado en el año y el cumplimiento del resto de los portadores energéticos planificados

Objetivo 4: Asegurar el mantenimiento a las infraestructuras en la central acorde a estándares corporativos.

Objetivo 5: Asegurar la ejecución de los mantenimientos a equipos principales y auxiliares y la respuesta a las averías, alcanzando una disponibilidad técnica del 85%.

Objetivo 6: Planificar y solicitar el 100% de las piezas de repuesto e insumos asociados a los mantenimientos cíclicos, capitales y las averías, para que la organización central garantice el 90% de los mismos.

Objetivo 7: Perfeccionar el sistema de seguridad y protección a través de la instalación de medios técnicos de seguridad.(110, 2017b)

1.1.2 Descripción del sistema de almacenamiento de combustible

La Central Eléctrica de Fuel Oíl de Santa Clara 110 cuenta con 2 tanques de Fuel oíl utilizados para recepción-asentamiento y otro para almacenamiento y trasiego hacia los HTU de las 3 baterías que componen esta central. Estos tanques están aforados geométricamente.

Operaciones en los sistemas de combustible:

Recepción de combustible: El proceso de recepción es el primer paso en el control de calidad del combustible y constituye, además, la metodología establecida para el traspaso legal de propiedad del combustible de CUPET a la central. Por esta razón, es de obligatorio el cumplimiento de lo estipulado en la Instrucción UJ-IG 0401 y UJ-IG 0402 Recepción de combustible diésel y fuel oil respectivamente (por camión cisterna, oleoducto y vía marítima), donde se detallan todos los aspectos a tener en cuenta antes, durante y después de la descarga de cualquier tipo de combustible.

Tanques de recepción y almacenamiento: Los tanques de recepción constituyen una barrera de protección ante la ocurrencia de errores en la descarga de combustibles que incumplan con las especificaciones que pudieran contaminar el total del volumen del combustible en operación produciendo una indisponibilidad prolongada de la central. Las fuentes de contaminantes en un tanque pueden ser varias, desde las recepciones que no cumplan con los parámetros de calidad pactados hasta las “respiraciones” de vapor de agua del depósito debido a los cambios climáticos ocurridos durante el día y la noche. En el almacenamiento primario del producto ocurren procesos favorables de decantación de agua, sales y sólidos suspendidos que en gran medida pueden ser eliminados por el sistema de purgas periódicas. Identificación de un tanque de recepción donde el combustible cumpla un tiempo normado de reposo, antes de su trasiego a la operación, ya sea a través de depuradoras o de bombeo directo.

En el caso de la tecnología fuel, este tanque contará con un sistema de calentamiento capaz de mantener el volumen de combustible a una temperatura entre 45 y 53 °C favoreciendo los procesos de separación, decantación y trasiego. Para realizar el trasiego del combustible se necesitará la certificación química de la central para validar que este combustible, que es el producto de la

mezcla de todas las recepciones que han tenido lugar, cumple con las especificaciones pactadas.

Un sistema de drenaje capaz de evacuar eficientemente los productos decantados hacia los lugares de vertimiento de residuos oleosos.

Drenajes periódicos de agua y fondajes: Los tanques de almacenamiento tienen que operar sin agua en el fondo, ya que el agua ejerce un efecto contaminante sobre los productos, favorecen la acción corrosiva sobre la chapa del tanque y constituyen un peligro de contaminación durante la manipulación. El drenaje de los tanques es una práctica de operación de obligatorio cumplimiento y está regulada.(110, 2017a)

1.1.3 Características del combustible (fuel oil)

Este tipo de combustible se obtiene como un residuo de la destilación fraccionada del petróleo, en el cual se produce entre un 30 y un 50% de esta sustancia. El fuel oil es el combustible más pesado que se puede destilar a presión atmosférica. Su mayor uso se requiere en plantas eléctricas, barcos, calderas y hornos. Uno de sus principales problemas es su viscosidad ya que dificulta su uso y los costos de bombeo, para ello se precalienta a una temperatura aproximada de 110 °C antes de ser quemado.(Torres, 2010).

Aditivo que se le añade al combustible (Pentol).

Unos de los procesos más complicados en la central es el uso del Pentol, este es una mezcla de quelato y compuestos de magnesio en una sustancia portadora orgánica, este se deposita en el depósito de combustible o en la línea de suministro de gasóleo/fueloil, su función principal es mejorar la combustión y, por tanto, reduce al máximo el carbón no combustionado, evita los depósitos en el conducto de gas de combustión y previene la precipitación de asfáltenos.(110, 2017a).

1.1.4 Características del Motor Hyundai HIMSEN H21/32

El motor Hyundai está formado por: un block seccionado, el cual no es refrigerado por agua. La camisa del cilindro es húmeda, hecha de una aleación especial de hierro fundido, con pasajes de aceite para su lubricación. Los pistones son el extremo movable de la cámara de combustión, fabricados de un acero aleado especial forjado. El juego de aros está formado por 2 anillos de compresión con recubrimiento cerámico del anillo superior y un anillo raspador de aceite. La biela del motor Himsen H21/32 Hyundai está fabricada de un acero especial forjado en troquel. El árbol de cigüeñal se encuentra apoyado en el bloque por cojinetes de aluminio bimetálicos con una gran área de rodamiento. (Valencia, 2008).

Tabla 1.1.4.1 Parámetros principales del motor (Cheonha-Dong)

Tipo de motor	El 4-golpe, la inyección vertical, directa, la sola acción y tipo de pistón de tronco con el turbo cargador y enterrar refrigerador
Configuración del cilindro	Línea de adentro
Numero de cilindro	5 – 6 – 7 – 8 – 9
Velocidad de operación (rpm)	720 750 900 1000
Potencia por cilindro (kW)	160 160 200 200
Diámetro del cilindro	210
Desplazamiento del pistón (mm)	320
Volumen de barrido por el cilindro (dm ³)	11.1
Promedio de la velocidad del pistón (m/s)	7.7 8.0 9.6 10.7
Promedio de la Presión Eficaz (bar)	24.1 23.1 24.1 21.7
La Proporción de compresión	17:1

Dirección de la rotación del motor	En el sentido de las agujas del reloj Visto del Lado del Generador (No-reversible)
Orden de encendido de los cilindros	5H21/32 1 – 2 – 4 – 5 – 3 6H21/32 1 – 4 – 2 – 6 – 3 – 5 7H21/32 1 – 2 – 4 – 6 – 7 – 5 – 3 8H21/32 1 – 3 – 5 – 7 – 8 – 6 – 4 – 2 9H21/32 1 – 3 – 5 – 7 – 9 – 8 – 6 – 4 – 2

1.2. Cogeneración

Se conoce como cogeneración al sistema que, a partir de una misma fuente de energía primaria, es capaz de entregar, secuencialmente, energía eléctrica y calor útil para los procesos de que se trate.

Para tener una mejor idea de la definición de cogeneración tenemos que es:

- La producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas.
- La producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate
- La producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.(Zuñiga, 2002).

Ejemplo de ello se encuentra en la planta de cogeneración Gyorho en Hungría tiene una eficiencia del 81.5% basado en la energía del combustible, es decir, 43.1% de la energía del combustible se convierte en electricidad y 38.4% en calefacción para calefacción urbana.(Rezaie and Rosen, 2012).

La aplicación de la cogeneración trae consigo beneficios tales como:

- Disminución de los consumos de energía primaria
- Disminución de las importaciones de combustible
- Disminución de las importaciones de combustible (ahorros en la balanza de pagos del país)

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. (Herramienta para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto)
- Disminución de pérdidas en el sistema eléctrico e inversiones en transporte y distribución. -Aumento de la garantía de potencia y calidad del servicio eléctrico.
- Aumento de competitividad industrial y de competencia en el sistema eléctrico.
- Promoción de pequeñas y medianas empresas de construcción y operación de plantas de cogeneración.(Linzan, 2011)

Uno de los principales problemas que existe hoy en día en la cogeneración es la simultaneidad de cargas. Dado que tales sistemas están destinados a reunirse, demanda total o parcialmente variables de energía eléctrica. Los servicios de refrigeración y calefacción, deberían diseñarse de tal manera que las capacidades de suministro de energía de los equipos coincidan completamente con las expectativas demandadas, servicios públicos, evitando así capacidades excedentes innecesarias. Las condiciones básicas para la selección del equipo deben ser para sistemas independientes. Cualquier falla de estas condiciones dará como resultado la ruptura de una o más de las utilidades prestadas.(Pablo R. Roque Diaz, 2009).

1.2.1. La cogeneración en las plantas de generación de electricidad

La cogeneración, en las plantas de generación de electricidad se ve determinada por la cantidad de energía que se desea producir. Por ello el tener un mayor aprovechamiento de la potencia de los combustibles, se determina por la cantidad de calor que se puede extraer de los gases de escape principalmente, por lo que implica una reducción de la cantidad de combustible a utilizar. Si se desea realizar otra función además de la generación de electricidad. Una de las alternativas que se han utilizado es la de ciclos combinados. La central consiste esencialmente de una turbina de gas cuyos gases de escape calientes se pasan

por una caldera de recuperación para generar vapor y hacerlo pasar por una turbina de vapor. Típicamente la turbina de gas (puede ser una turbina o dos, depende de las capacidades) genera el 66% de la energía y la turbina de vapor el 34 % restante. El despegue de esta tecnología se dio por los aumentos de eficiencia de las turbinas de gas, que pasaron del 20 al 44% entre 1960 y 1990, logrados con el desarrollo de mejores materiales y técnicas de fabricación. En la actualidad las centrales de ciclo combinado alcanzan eficiencias cercanas al 60%, con base en el poder calorífico inferior.(Santaló, 2008).

Cogeneración con turbinas de vapor:

Los ciclos de vapor son usados, principalmente, para la generación de energía eléctrica. Se caracterizan por ser sistemas cerrados donde el fluido de trabajo es agua que va cambiando de fase a lo largo del proceso. Sus componentes básicos son caldera, turbina, condensador y bomba. La transferencia de calor se da por convección, es decir el agua circula por el interior de un haz de tubos, mientras que los gases de combustión circulan exteriormente a ellos. Este sistema de cogeneración tiene un proceso de instalación más complicado que la turbina de gas, ya que requiere de mayor número de componentes. Su rendimiento termodinámico está en el rango de 35 y 45%. Sin embargo, es ligeramente superior a un ciclo de gas. Los rangos de potencia generada son variados.(Chanampa, 2010).

Cogeneración con turbina de gas:

Aquí un compresor alimenta la cámara de combustión con aire a alta presión a donde se le añade combustible, al quemarse generará gases a alta temperatura y presión, que, a su vez, se alimentan a la turbina donde se expanden generando energía mecánica que se transforma en energía eléctrica. Los gases de escape tienen una temperatura que va de 500 a 650 °C. Estos gases son relativamente limpios. Por lo tanto se pueden aplicar directamente a procesos de secado, o ser aprovechados para procesos de combustión posteriores, al tener

un contenido de oxígeno de alrededor del 15%. Debido a su alta temperatura, estos gases suelen ser empleados a su vez, para producir vapor, que se utiliza en los procesos industriales. La cogeneración con turbina de gas resulta muy adecuada para los procesos en los que se requiere de una gran cantidad de energía térmica, o en relaciones de calor/electricidad mayor a 2.(Treviño, 2002).

Características de la cogeneración con turbinas de gas(Treviño, 2002)

- Bajo costo de inversión
- No consume agua de enfriamiento
- Baja eficiencia sobre todo a cargas parciales
- Cantidad fija de vapor de proceso
- Baja inversión en equipo de limpieza de gases por quemar gas
- No permite variación grande de vapor de proceso
- Mínimo requerimiento de espacio. Fácil de instalar o desmontar
- Tiempo de arranque muy corto

Cogeneración en motores alternativos de combustión interna:

Para aplicar este sistema a uno de cogeneración, se debe colocar una caldera recuperativa a la salida del motor, para que los gases de escape o productos de combustión que salen a temperaturas relativamente altas. Estos ceden calor al agua bombeada desde un tanque de almacenamiento donde se convierte en vapor para una aplicación posterior. Esta aplicación es el más conocida y usada para cogenerar, por el difundido y amplio rango de trabajo de los motores alternativos. Además, su instalación es más factible que las turbinas simples o ciclos combinados, por lo que es más viable para usuarios con requerimientos más pequeños de vapor y electricidad. Su rendimiento térmico se encuentra entre 40 y 55%, cubre amplios rangos de potencia por la variedad de motores existentes.(Chanampa, 2010).

Características de la cogeneración con motores alternativos. (Treviño, 2002)

- Bajo costo de inversión
- Consumo medio de agua de enfriamiento
- Alta eficiencia térmica
- Generación térmica principalmente de agua caliente
- Operación poco flexible, la carga térmica depende frecuentemente de la generación eléctrica
- Alta producción de electricidad con relación a la carga térmica
- Mediana emisión de contaminantes
- Tiempo de arranque muy corto
- Requiere poco espacio para su instalación
- Tiempo corto de montaje
- Capacidades desde unos cuantos KW
- Aplican en procesos con relación calor / electricidad alrededor de 1.

Como este trabajo hace referencia a una planta de generación eléctrica con base a motores de combustión interna, la determinación real de calor que se puede recuperar después de la combustión, se calcula mediante la realización de un balance térmico. Se debe tener en cuenta que del análisis del ciclo del motor se desprende el trabajo efectivo. En el cual se consume solamente una pequeña parte del calor que se obtiene al quemar el combustible. La ecuación del balance térmico es:

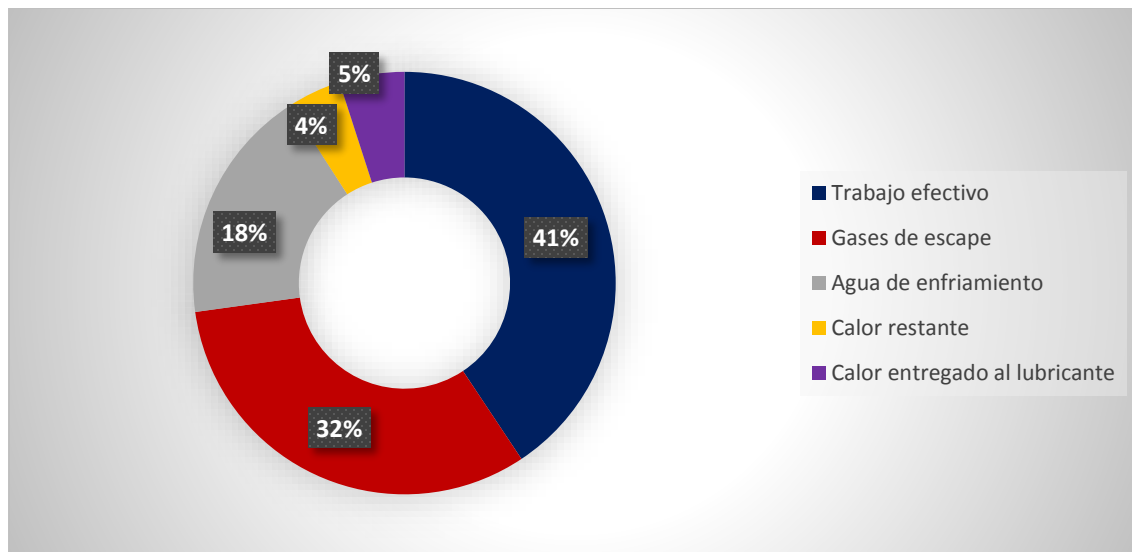
$$Q_0 = Q_e + Q_{ref} + Q_g + Q_c + Q_l + Q_r \quad \text{Ec. 1.2.1.1}$$

donde Q_0 es la cantidad total de calor introducida con el combustible al motor en el régimen dado; Q_e , el calor equivalente al trabajo efectivo del motor; Q_{ref} , el calor cedido al medio refrigerante; Q_g , el calor que se llevan del motor los gases de escape; Q_c , la parte del calor del combustible que se pierde debido a su combustión incompleta; Q_l el calor entregado al lubricante; Q_r , el término independiente que determina las pérdidas no incluidas en las demás

componentes del balance térmico.(Guevara, Septiembre 2000).

Dado los parámetros fundamentales de este tipo de motor podemos determinar los potenciales de energía que se pueden obtener. Las únicas variantes encontradas en el proceso de determinación son, el estado de carga, las horas de funcionamiento y el estado técnico de los motores. Para tener una mejor visualización de lo que se quiere decir en la Grafica 2 se dan los detalles de un motor trabajando en un régimen de carga de un 76% aproximadamente durante el año 2016.

Gráfico 1.2.1.1 Representación porcentual del balance térmico en un motor a 76% de carga.(William Pérez Delgado, 2016)



1.3 Series de tiempo

Una serie temporal, cronológica, histórica o de tiempo es una serie estadística en la que cada uno de los valores de la variable está referido a un instante o aun periodo de tiempo. Por lo que son un conjunto de valores observados durante una cierta y determinada cantidad de tiempo secuencialmente ordenados, en la cual el tiempo es la variable independiente y la otra la variable dependiente.(TOLEDO).

1.3.1 Redes neuronales artificiales

Una mejor forma de obtener la cantidad de energía disponible es la utilización de cálculos con redes neuronales artificiales. Este tipo de cálculo quedaría pospuesto para un futuro con ánimos de obtener datos con más precisión. Estas parten desde datos reales obtenidos de alguna estadística. Las Redes Neuronales Artificiales, están inspiradas en las redes neuronales biológicas del cerebro humano. Están constituidas por elementos que se comportan de forma similar a la neurona biológica en sus funciones más comunes. Estos elementos están organizados de una forma parecida a la que presenta el cerebro humano. Por ejemplo las redes neuronales artificiales aprenden de la experiencia, generalizan de ejemplos previos a ejemplos nuevos y abstraen las características principales de una serie de datos.(Olabe, 1998).

Aprender: adquirir el conocimiento de una cosa por medio del estudio, ejercicio o experiencia.

Generalizar: extender o ampliar una cosa. Estas redes pueden ofrecer, dentro de un margen, respuestas correctas a entradas que presentan pequeñas variaciones.

Abstraer: aislar mentalmente o considerar por separado las cualidades de un objeto.

1.3.2 Elementos básicos que componen una red neuronal

Las redes neuronales como operan lo más parecido a una neurona biológica esta cuenta de tres capas. Los datos ingresan por la capa de entrada pasan hacia la capa oculta y salen por la capa de salida. (Matich, 2001). Cabe considerar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas. En figura 1 se representa el esquema de una red neuronal artificial totalmente conectada.

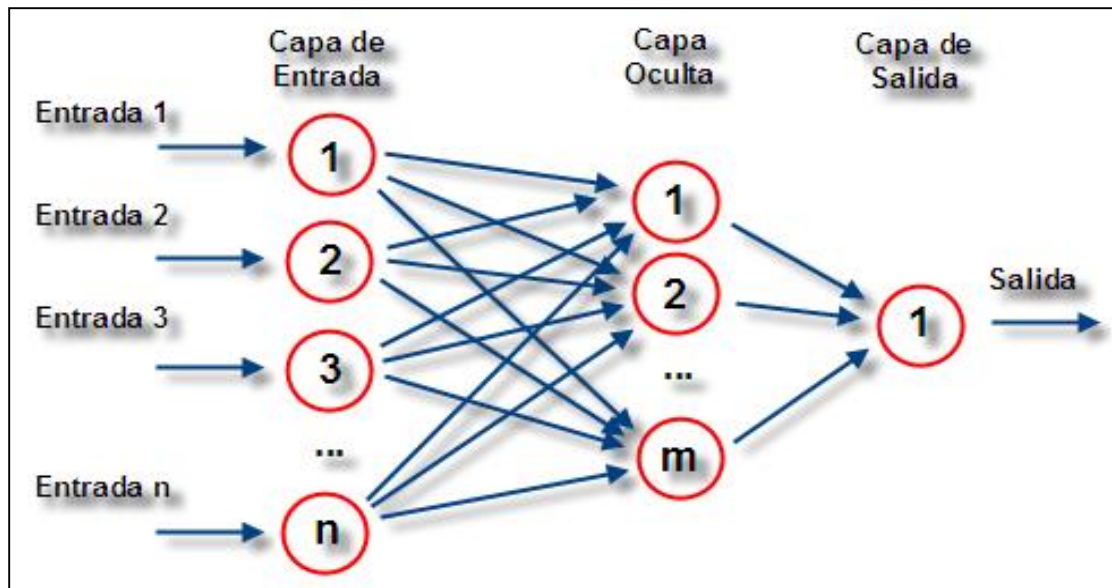


Figura 1.3.2.1 Esquema de una red neuronal. Fuente: modificado por el autor de (Match, 2001)

1.3.3 Análisis de series de tiempos con Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Luego del comienzo, perfeccionamiento y desarrollo de las RNA se ha realizado muchos trabajos importantes con ánimos de mejores resultados. Por ello en los últimos años se cuentan con muchos trabajos de predicciones los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Predicción de acciones: Consiste en el desarrollo de una red neuronal capaz de realizar la predicción del precio de las acciones para un número dado de compañías. Esta predicción se realiza mediante redes alimentadas hacia adelante, y el objetivo en este particular caso es predecir el siguiente valor en la serie de tiempo, el próximo precio de la acción.

Predicción de tráfico vehicular: Se han utilizado redes neuronales recurrentes para la predicción a corto plazo del tráfico en una carretera, a fin de prevenir congestiones y tener un control del acceso a la autopista. Para esto se utilizan

datos estimados de otros días con propiedades similares; los mejores resultados se obtuvieron con una red multi - recurrente, y se pudo comprobar que las redes neuronales resolvieron este tipo de predicción y obtuvieron mejores resultados que los métodos estadísticos convencionales.

Predicción de Tornado: Basada en atributos obtenidos de un radar Doppler, el cual observa diferentes fenómenos que a la larga llegan a producir tornados. Las tormentas eléctricas algunas veces llegan a producirlos, pero no siempre son antecedente de ello. Una red neuronal alimentada hacia adelante es usada para diagnosticar cuales fenómenos detectados por el radar llegarán a producir un tornado. La red neuronal es diseñada para la identificación de tornados, con ese fin, se desarrollaron procedimientos para determinar el tamaño del conjunto de entrenamiento y el número de nodos ocultos necesarios para el funcionamiento óptimo. Se mostró que la red neuronal encontrada de este modo supera un algoritmo basado en reglas.

Para el desarrollo del análisis de la serie se deben escalar los datos, esto se debe a las funciones de transferencia que se pretenden usar en el entrenamiento de las redes. Las funciones utilizadas requieren entradas en el rango $[-1, 1]$. Para este fin se utilizan las herramientas de pre-procesamiento de datos que ofrece Matlab en el toolbox.

La organización de los datos en 2 columnas, 3 columnas y 4 columnas, se realiza con el fin de manejar topologías con 1, 2 y 3 neuronas en la capa de entrada y variar de 2 a 3 en la capa oculta y hasta 2 capas ocultas, esto último tomando en cuenta el número de ejemplos de entrenamiento que se tiene disponible de la forma que se escaló.

Conclusiones parciales:

Después de una revisión bibliográfica se determinaron los fundamentos teóricos de la investigación.

1. Se realizó una descripción de toda la planta y de los sistemas de almacenamiento de combustible.
2. Se determinaron las características fundamentales de los motores que se van analizar.
3. Se hizo una revisión bibliográfica sobre las técnicas y procedimientos utilizados para estimar el potencial de energía térmica disponible en motores de combustión interna.

Capítulo II

Desarrollo del modelado de potenciales de energía térmica teóricamente disponible, en plantas de generación distribuida basada en motores de combustión interna.

Capítulo II: Desarrollo del modelado de potenciales de energía térmica teóricamente disponible, en plantas de generación distribuida basada en motores de combustión interna.

2.1 Balance de energía en la planta de generación

A partir de la cantidad de energía que se genera en una planta siempre trae como inconveniente que existan pérdidas. En este caso pueden ser por, calor que se pierde en el sistema de enfriamiento, el de lubricación o en los gases de escape. Cabe destacar que las pérdidas más importantes son en los gases de escape, como se representó en el gráfico 1.2.1.1.



Figura 2.1.1 Balance de energía de primera ley.

En el esquema anterior queda representado un balance de energía de primera ley. Donde lo que entra es igual a lo que sale. Para ello la ecuación la ecuación del balance de primera ley lo describe,

$$E_{ent} + E_g - E_{sal} = \Delta E_{alm} \quad \text{Ec. 2.1.1}$$

Por ende E_{ent} significa la energía que entra al sistema, E_g la que se genera, E_{sal} la que sale y ΔE_{alm} la variación de energía almacenada dentro del sistema. Que por lo general se asume que es 0. (Incropera, 1999).

Para la realización del cálculo de primera ley en la instalación que nos corresponde la ecuación siguiente:

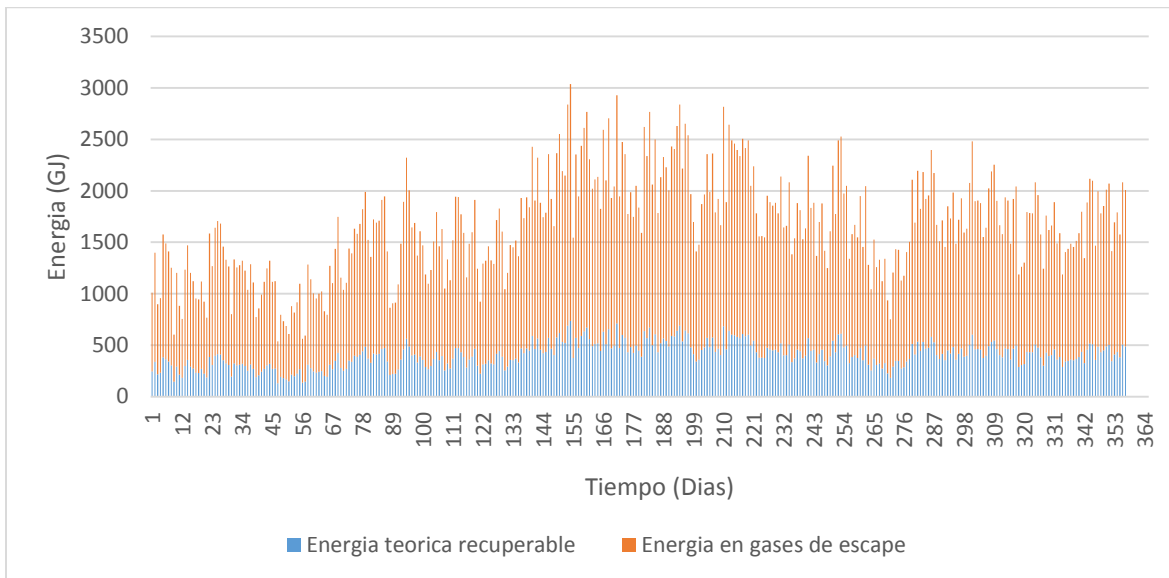
$$Q_{in} = Q_o + Q_d$$

Ec. 2.1.2

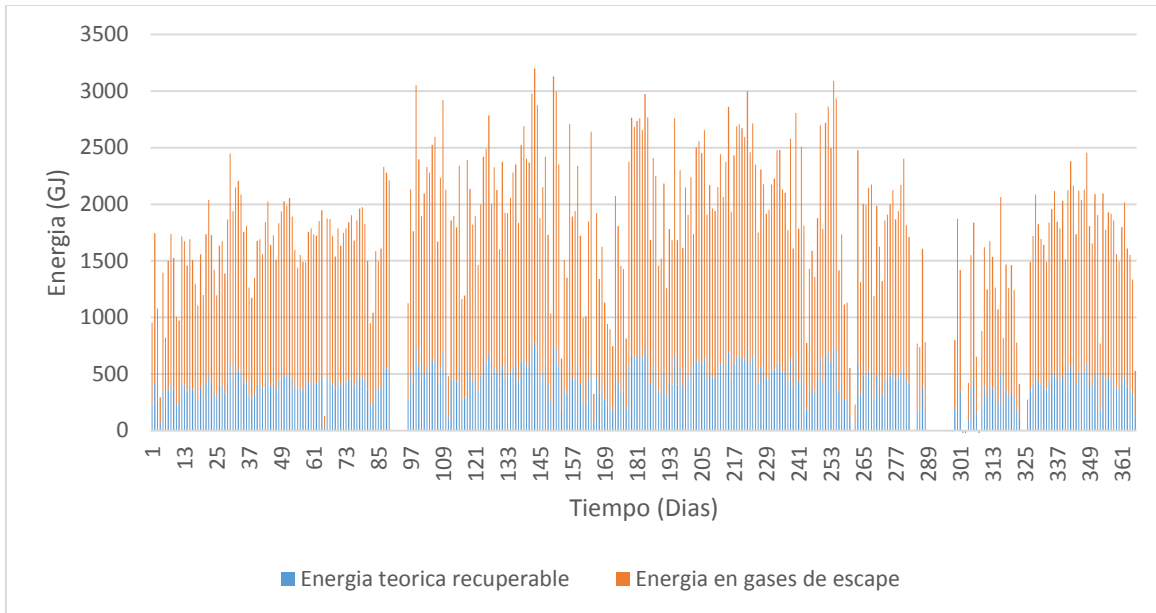
Donde Q_{in} es la energía que contiene el combustible, Q_o es la energía eléctrica obtenida y Q_d es la que se pierde de diversas formas. Esta última se multiplica por 32% que es la cantidad porcentual de energía que se pierde en los gases de escape para un motor trabajando en 76% aproximadamente.

En las siguientes graficas se muestran la energía que se pierde en los años 2015, 2016 y 2017, con ello la energía teóricamente recuperable.

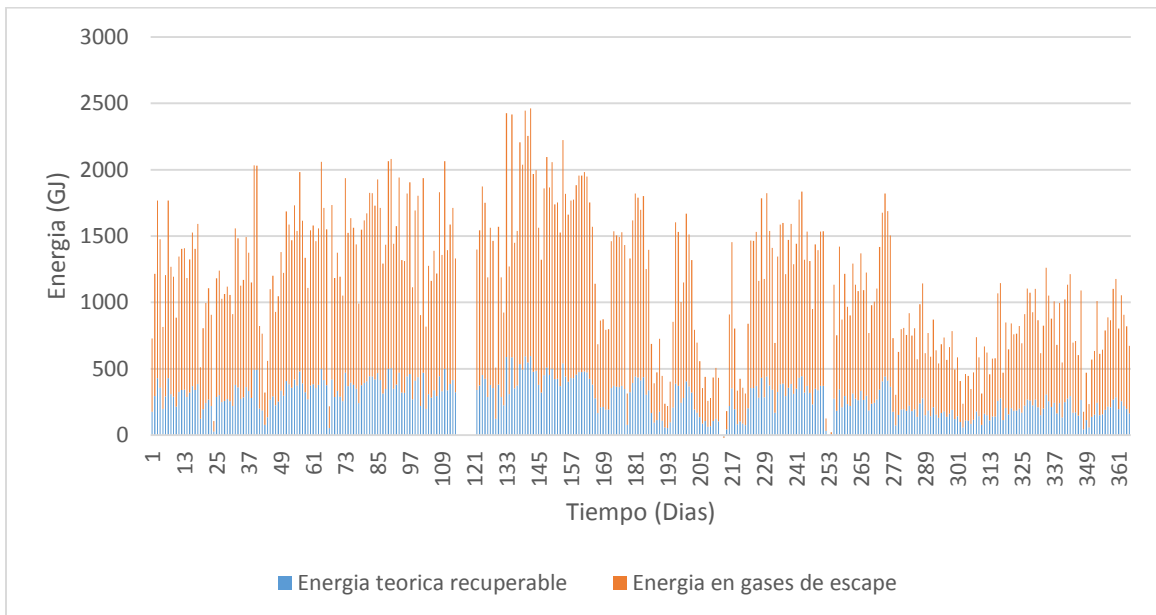
Gráfico 2.1.1 Energía perdida y teórica disponible en 2015.



Gráfica 2.1.2 Energía perdida y teórica disponible en 2016.



Gráfica 2.1.3 Energía perdida y teórica disponible en 2017.



Según lo mostrado en los gráficos anteriores se aprecia que existe una diferencia notable. Se debe al estado de carga de los motores y pues claro que no toda la energía que contienen los gases se puede recuperar. En consecuencia que no se puede bajar tanto la temperatura por el nivel de azufre del combustible.

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

2.2- Modelación de la energía térmica teóricamente disponible.

En la realización de los análisis de los datos de la planta estos se toman de un Data Set, aquí se encuentran organizados por fecha. Luego los valores de estado de carga para cada uno de los motores, así como el número de horas lo cual trabajan cada día. También se cuenta con la curva de temperatura versus carga a la salida del turbo compresor, obteniéndose la ecuación que la describe (Ec.2.2.1), con un nivel de confianza de un 95% y $R^2=0,9984$.

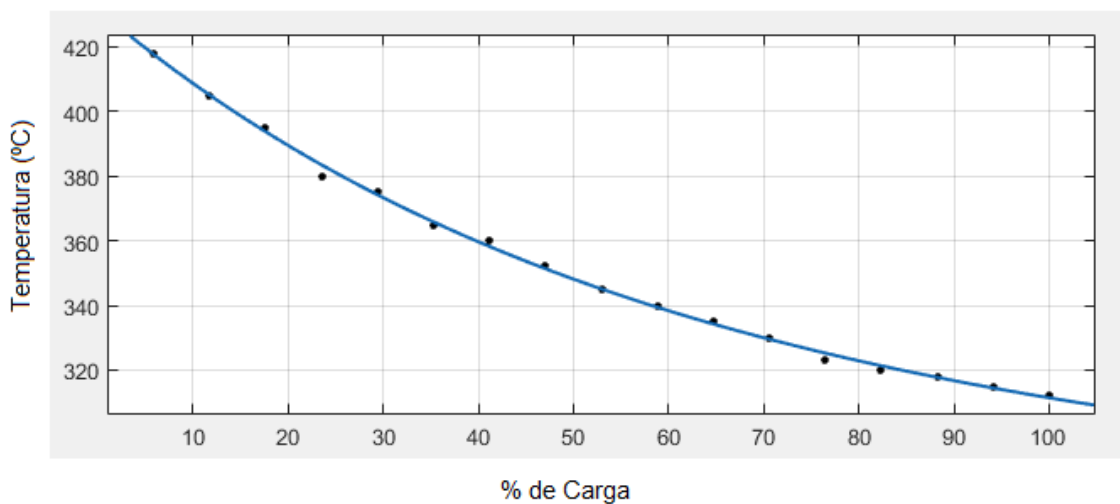


Figura 2.2.1 Curva de temperatura versus carga a la salida del turbo compresor.

Fuente: modificado por el autor de (Leiva, 2010a)

$$T_{EC} = a \cdot e^{(b \cdot EC)} + c \cdot e^{(d \cdot EC)} \quad \text{Ec.2.2.1}$$

Tabla 2.2.1 Coeficientes para las ecuaciones de las curvas. Fuente: Modificado por el autor de (Leiva, 2010a)

Coeficientes	Valores	Coeficientes	Valores
a	128,2	P ₁	0,01195
b	-0,1847	P ₂	1,782
c	303,4	P ₃	92,71
d	-0,0004094		

Otra de las curvas con la que se cuenta es la de estado de carga versus presión de admisión la que demuestra que a medida que aumenta el porcentaje de carga lo hace la presión. Obteniendo una ecuación polinómica de grado 2, con un nivel de confianza de 95% y R²=0,9999.

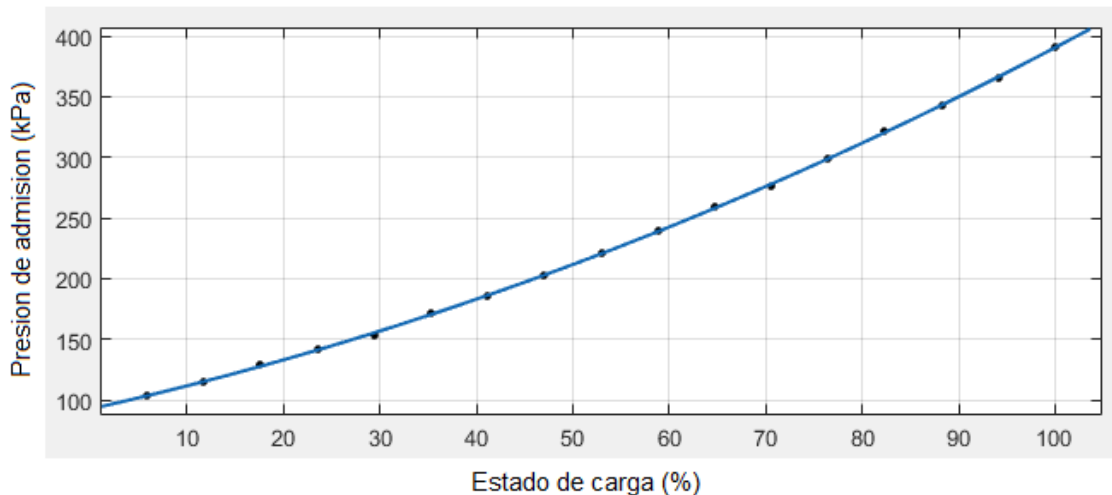


Figura 2.2.2 Curva de presión de admisión versus estado de carga. Fuente: Modificado por el autor de (Leiva, 2010a)

$$P_{EC} = P_1 \cdot EC_{(i,j)}^2 + P_2 \cdot EC_{(i,j)} + P_3 \quad \text{Ec. 2.2.2}$$

En la realización del modelo matemático para obtener la energía térmica disponible se asume que los gases de escape se comportan como gases ideales. También se toma que es un proceso isentrópico, a entropía constante y sin intercambio de calor. Por lo que las ecuaciones a utilizar son las siguientes:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} \quad \text{Ec. 2.2.3}$$

Esta ecuación se utiliza para realizar el cálculo de la temperatura de la carga, la cual está representada por T_2 .

$$P \cdot v = R \cdot T \quad \text{Ec. 2.2.4}$$

De aquí se despeja v para calcular la densidad, que es el inverso del volumen específico por tanto quedaría así:

$$\rho = P/RT \quad \text{Ec. 2.2.5}$$

Una vez obtenida la densidad se pasa al cálculo del flujo másico que es:

$$m = \rho \cdot V_{cil} \cdot \left(\frac{rpm}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{60}\right) \cdot N_{cil} \quad \text{Ec. 2.2.6}$$

Luego de haber calculado todo lo anterior, podemos terminar con un modelo matemático, que luego se utiliza en Matlab para realizar la estimación de la energía teórica recuperable. Este modelo es el siguiente:

$$q = \sum_{i=1}^{i=n} m_{i,EC} \cdot C_p \cdot (T_{i,EC} - T_{ref}) \quad \text{Ec. 2.2.7}$$

Conclusiones parciales:

Como principales conclusiones del presente capítulo se pueden arribar a las siguientes:

1. Se realizó un balance de energía de primera ley en la planta, determinando así que del total de energía, solo el 32% puede ser teóricamente recuperada.
2. Se desarrolló un modelo matemático con el apoyo del Software Matlab para estimar la energía teóricamente recuperable, teniendo en cuenta distintos parámetros de los motores.

Capítulo III

Análisis de los resultados

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

CAPÍTULO III: Análisis de los resultados

3.1 Introducción

En la realización de este capítulo se hace una comparación de los métodos seleccionados para el cálculo de la cantidad de energía teóricamente disponible. Una vez realizado, los resultados obtenidos son introducidos en tres garfios, identificados por los años en los cuales se determinó. Es importante resaltar que en el balance de primera ley no se tomaron tantos datos como en Matlab.

3.2 Potencias térmicas determinadas en Matlab

Gráfico 3.2.1 Potencia térmica instantánea durante el 2015

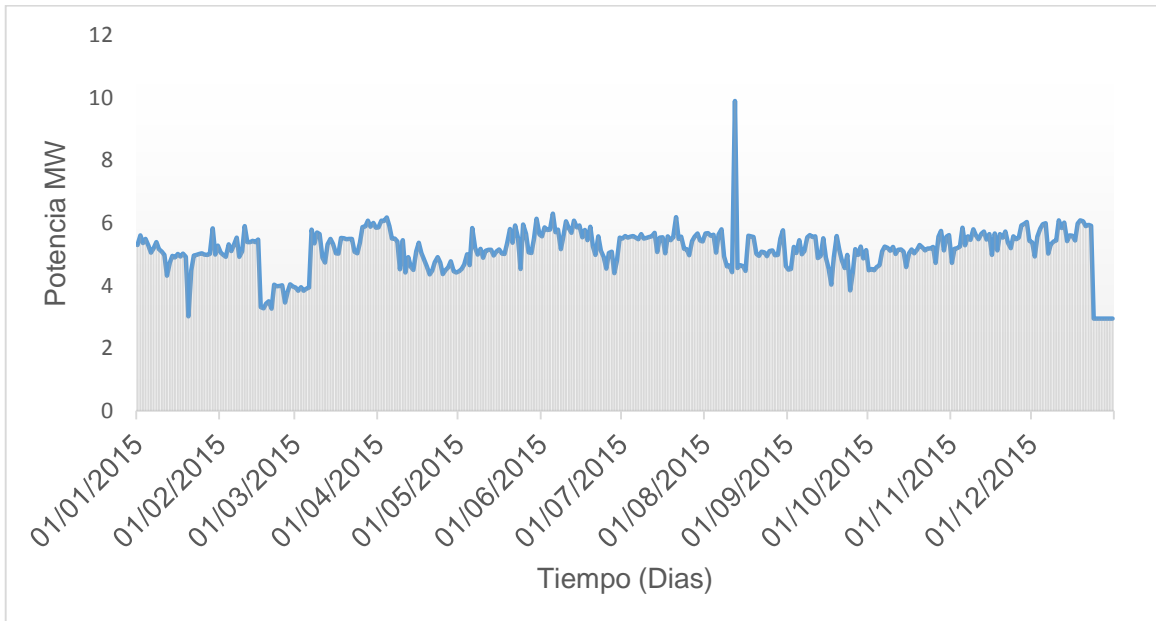


Gráfico 3.2.2 Potencia térmica instantánea durante el 2016

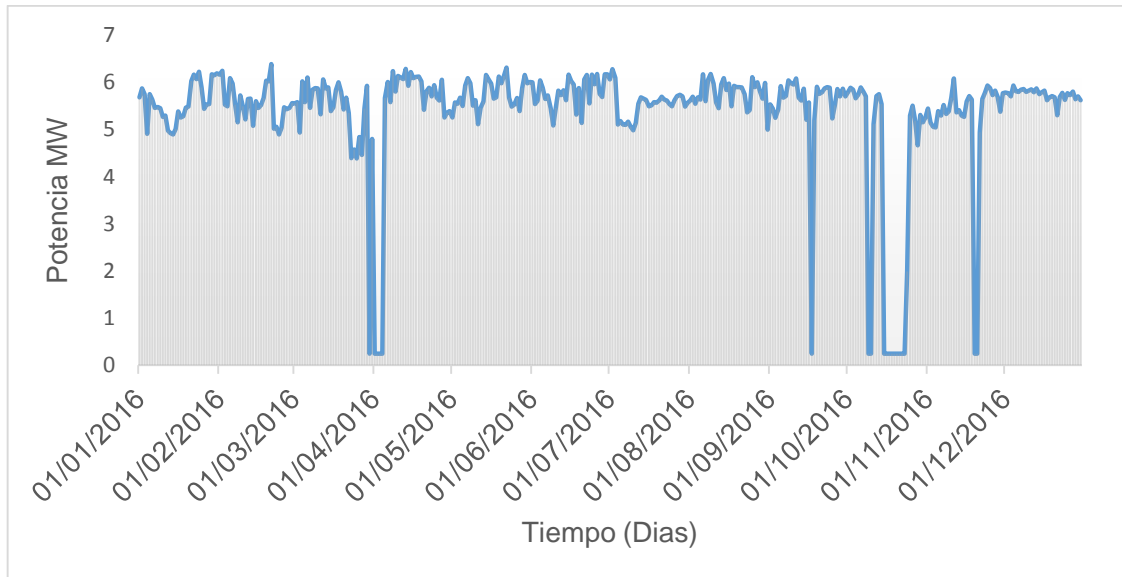
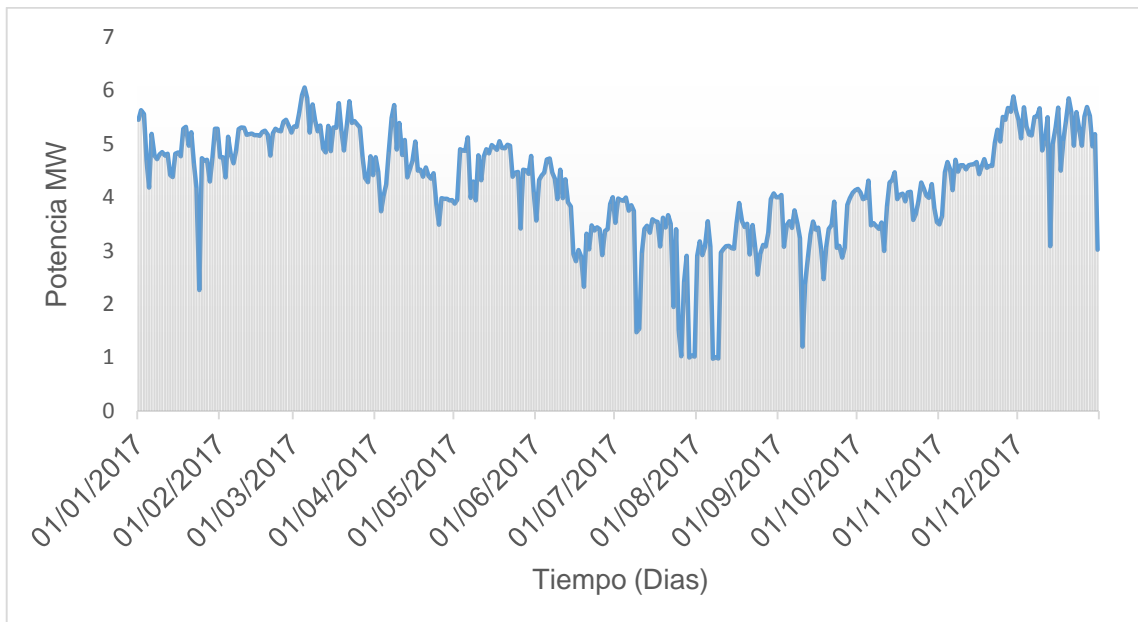


Gráfico 3.2.3 Potencia térmica instantánea durante el 2017



En estos gráficos se representan la potencia térmica instantánea por días durante los tres años en cuestión. Dando en algún tiempo determinado una estabilidad en los valores, no así en otros momentos. La consecuencia de esto

es que los motores salen de operación, ya sea por rotura, mantenimientos o por carga en la generación eléctrica.

3.4 Comparación de la energía teóricamente disponible por: Balance de primera ley versus Matlab.

Gráfico 3.4.1 Comparación en 2015

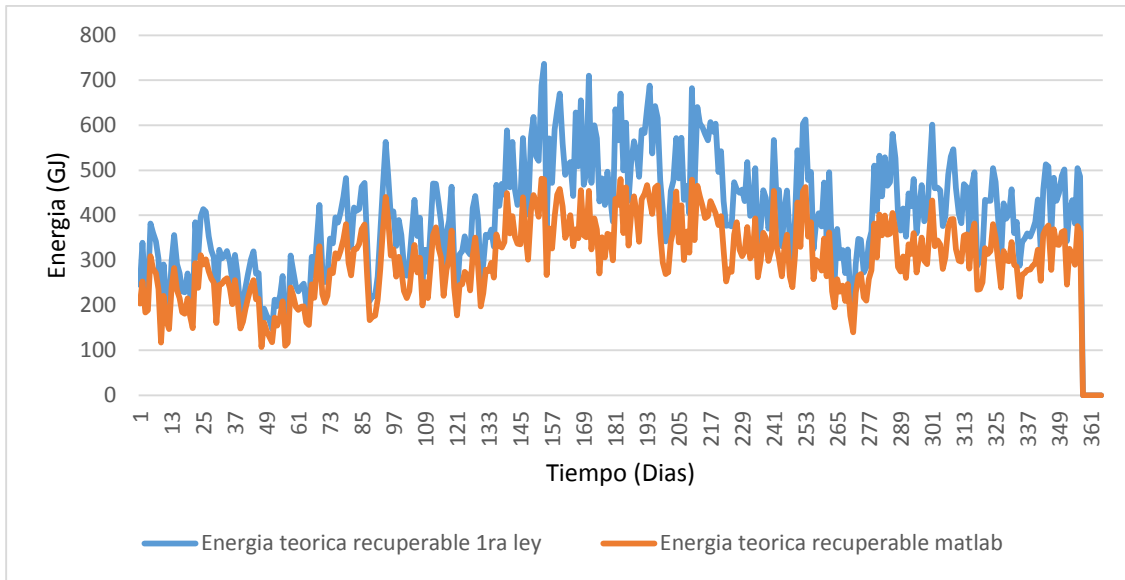
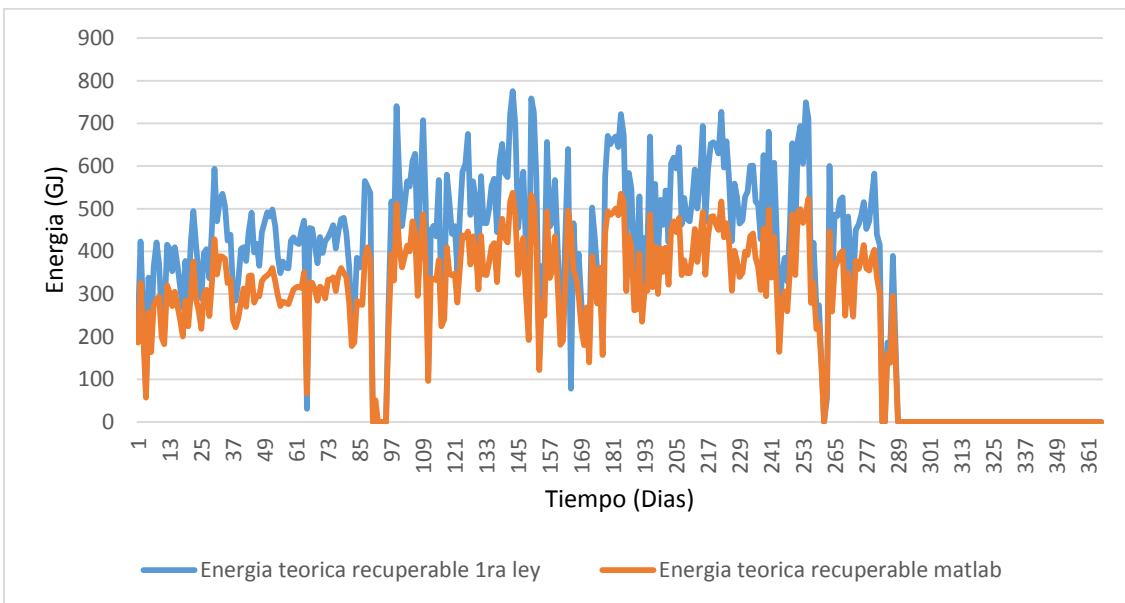
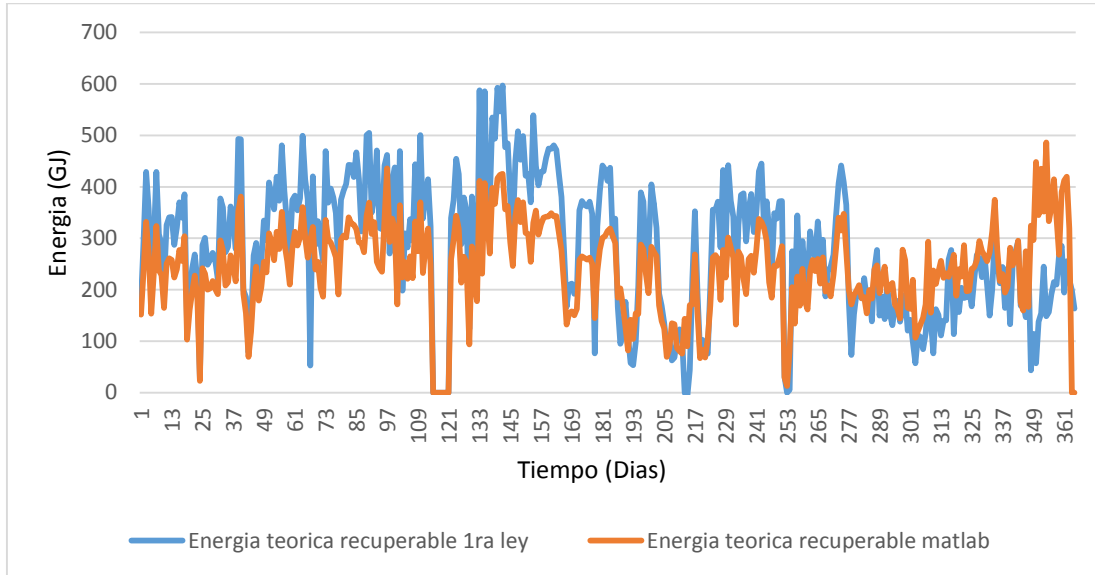


Gráfico 3.4.2 Comparacion en 2016



Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

Gráfico 3.4.3 Comparacion en 2017



Según lo visto anteriormente, la comparación de energía disponible por los distintos métodos arroja resultados similares. Lo más destacado que se observa en los gráficos son los picos en los cuales existe una caída de la disponibilidad a consecuencia del apagado de los motores. Los resultados no llegan a ser totalmente iguales pero si tienen un comportamiento similar, debido a las consideraciones para cada uno de los métodos. Dando así una desviación media estándar de 147,48 GJ. Durante los distintos años el comportamiento de la energía disponible varía en dependencia de la demanda eléctrica.

Conclusiones generales

Conclusiones generales

Según lo realizado anteriormente en dicho trabajo se destaca la solución de los objetivos trazados.

1. Realización de una búsqueda bibliográfica organizada y centrada en las características de las plantas de generación distribuida basadas en motores de combustión interna.
2. Se calculó la potencia térmica mediante el software Matlab, para determinar la energía teórica disponible.
3. Se obtuvo la energía teórica disponible por ambos métodos seleccionados, dando como resultado una desviación media estándar de 147,48 GJ.

RECOMENDACIONES

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

Recomendaciones

Para el desarrollo de trabajos futuros, dedicados a este tema, se recomienda lo siguiente:

1. Hacer un análisis de series temporales con redes neuronales artificiales, donde se relacionen los resultados obtenidos al estado de carga, variación de la temperatura ambiente y patrones de variación de entrada-salida de operación de los motores.
2. Realizar una comparación entre los métodos puestos en práctica.

Bibliografía

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

Bibliografía

- 110, C. E. S. C. 2017a. Datos Técnicos.
- 110, C. E. S. C. 2017b. Informe del 12/01/17.
- BARRERA, D. V. C. 2003. Integración de la cogeneración en el mercado eléctrico.
- CHANAMPA, N. 2010. Análisis energético de un sistema de cogeneración con ciclo combinado y gasificación para la industria azucarera. Tesis presentada para optar el Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, Universidad de Piura, Perú.
- CHEONHA-DONG, D.-G., ULSAN, KOREA LIBRO DE INSTRUCCIÓN VOLUMEN I.
- CONAE 2012. Oportunidades de cogeneración eficiente.
- DÍAZ, F. G. G. D. C. P. R. R. 2013. Potenciales de cogeneración en la central de grupos electrógenos de fuel oil (GEF) de Cayo Santa María. Trabajo de diploma.
- GIANGRANDI, L. 2011. Aspecto técnico económico para evaluación de proyecto de cogeneración en base a grupos electrogenos.
- GUEVARA, M. I. R. M. M. M. I. J. J. V. H. M. I. V. O. Septiembre 2000. Motores de combustión interna.
- INCROPERA, D. D. W. F. 1999. Fundamentos de transferencia de calor.
- LEIVA, A. L. 2010a. Manual de Gestión GDECU UNE Parte 2. 283.
- LEIVA, A. L. 2010b. Manual de Gestión GUECU UNE Parte 2.
- LINZAN, A. A. 2011. Cogeneración una alternativa importante de ahorro energético nacional.
- MARIELYS FRANCISCO FERNÁNDEZ, R. D. F., MIGUEL CASTRO FERNÁNDEZ, ÁNGEL COSTA MONTIEL marzo 2010. Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba.
- MARTÍNEZ, D. R. 2014. Cálculo del ciclo de trabajo de los motores de combustión interna de la generación distribuida de energía eléctrica".
- MATICH, D. J. 2001. Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. Cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos–Orientación I.
- MONROY, C. R. M. Junio de 2014. Modelado térmico de los motores de combustión. El Hombre y la Máquina 44.
- OLABE, X. B. 1998. Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. Publicaciones de la Escuela de Ingenieros 101pp.
- PABLO R. ROQUE DIAZ, Y. R. B. 2009. MATHEMATICAL METHOD FOR SIMULTANEITY ASSESSMENT OF TIME DEPENDENT ENERGY DEMAND FUNCTIONS FOR COMPLEX TRIGENERATION (CCHP) SYSTEMS.
- REZAIE, B. & ROSEN, M. A. 2012. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. Applied Energy, 93, 2-10.

- SANTALÓ, J. M. G. 2008. La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. Outlook, 1.
- TOLEDO, L. Series de tiempo.
- TORRES, Y. L. 2010. Estudio y uso del Lodo producido en la Generación Distribuida. Departamento de Energía. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- TREVIÑO, D. R. 2002. COGENERACION EN EL HOSPITAL SAN JOSÉ DE MONTERREY: USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA Y CALIDAD EN EL SUMINISTRO ENERGÉTICO.
- WILLIAM PÉREZ DELGADO, I. H. M. 2016. Estudio de la central Santa Clara 110kV con vistas a identificar potencialidades para la poligeneración.
- ZUÑIGA, D. G. 2002. Análisis Conceptual de una Planta de Cogeneración en el Campus Monterrey-Edición Única. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.

Desarrollo de un modelo para estimar la energía térmica teóricamente disponible en una planta de generación de electricidad basada en motores de combustión interna.

