



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELECTRICOS DE
POTENCIA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**HERRAMIENTA INFORMATICA PARA LA EVALUACION DE LA EFICIENCIA
ENERGETICA EN GENERADORES DE COMBUSTION INTERNA.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros Eléctricos en
Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autores:

Chicaiza Quisaguano Gilson Eduardo

Sarabia Ramos William Paul

Tutor Académico:

Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos Ms.C

LITACUNGA – ECUADOR

MARZO - 2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **CHICAIZA QUISAGUANO GILSON EDUARDO** y **SARABIA RAMOS WILLIAM PAUL** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENERGETICA EN GENERADORES DE COMBUSTION INTERNA.”**, siendo la **Ing. JESSICA NATALY CASTILLO FIALLOS** la tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Chicaiza Quisaguano Gilson Eduardo
C.C. 1725320681

.....
Sarabia Ramos William Paul
C.C. 1850295302

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“HERRAMIENTA INFORMATICA PARA LA EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENERGETICA EN GENERADORES DE COMBUSTION INTERNA”, de **CHICAIZA QUISAGUANO GILSON EDUARDO** y **SARABIA RAMOS WILLIAM PAUL**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2021

El Tutor

Jessica Castillo F

.....
Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos MSc.
C.C. 0604590216

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **CHICAIZA QUISAGUANO GILSON EDUARDO** y **SARABIA RAMOS WILLIAM PAUL** con el título de Proyecto de titulación **“HERRAMIENTA INFORMATICA PARA LA EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENERGETICA EN GENERADORES DE COMBUSTION INTERNA.”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2021

Para constancia firman:



.....
Ing. Suarez Vinueza Rommel
C.C. 1804165353



.....
Ing. Toaza Iza Jimmy
C.C. 1717621062



Firmado electrónicamente por:
MANUEL ANGEL
LEON SEGOVIA

.....
Ing. León Segovia Ángel
C.C. 0502041353

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen Santísima del Quinche por darme salud y fuerzas necesarias para llegar a culminar mis estudios.

A mis padres Segundo y María que fueron los principales promotores para cumplir mis sueños, siendo los pilares fundamentales en mi vida, por sus valores y consejos que me han inculcado, motivándome a ser mejor cada día. También agradezco a mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional y consejos para seguir adelante.

Un profundo agradecimiento a la Universidad técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas permitiéndome formar como un profesional de excelencia y calidad.

Mi más profundo agradecimiento a la Ing. Jessica Castillo por guiarnos con sus consejos y exigencias para llegar a culminar este proceso de tesis de la mejor manera, además a los ingenieros quienes me brindaron los conocimientos necesarios para afrontar la vida profesional.

Gilson Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Agradecido con el de arriba y con la virgen del Carmen de Piquil por permitirme tener a tantas personas buenas a mi lado.

A mis padres Wilian y María por el regalo de la vida, su amor incondicional y su ejemplo de lucha diaria, por su apoyo emocional, económico y por enseñarme a trabajar duro a pesar de lo difícil que se ponga la vida.

A mis hermanos, a mis primos por los momentos compartidos juntos durante este largo camino de la carrera universitaria.

A todos los docentes que tuve la dicha de conocer durante mi vida universitaria mismos que tuvieron la paciencia y dedicación para brindarme sus conocimientos.

De todo corazón agradezco a la Ing. Jessica Castillo por su guía en este trabajo de titulación brindándonos su experiencia para que culminemos de la mejor manera nuestro trabajo.

Finalmente, a mis amigos de la universidad con quienes compartí momentos difíciles y a la vez muy gratos.

William Sarabia

DEDICATORIA

A Dios, la Virgen Santísima del Quinche por haberme dado salud y fortaleza para llegar a este punto de mi vida.

A mis padres Segundo y María por sus esfuerzos, consejos y sacrificios que realizaron en todos estos años para que pueda llegar a obtener mis propósitos planteados, gracias al apoyo que me brindaron he logrado cumplir mis metas.

A mis hermanos quienes me brindaron sus consejos y su apoyo para no darme por vencido ante cualquier dificultad

A todas las personas que me brindaron su apoyo de forma directa e indirecta permitiendo que el trabajo se completara con éxito, y en especial a cada uno de las personas que nos ayudaron compartiendo sus conocimientos para llegar a afrontar en el campo laboral.

Gilson Chicaiza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con especial cariño a mis Padres William y María por tener la confianza en que lograría completar esta etapa de mi vida, por darme ese empujón que necesitaba en los momentos difíciles, por enseñarme que nada llega fácil y es importante trabajar duro por lo que uno quiere, gracias infinitas. También dedicado a mis hermanos Elizabeth, Esteban y Ricardo quienes han sido testigos del esfuerzo realizado por todos para llegar a este punto culminante de mi vida.

A mis primos Carol, Brayan y Cesar con quienes hemos compartido momentos difíciles, momentos estresantes y especialmente los momentos felices.

Lo dedico a todas las personas que han estado apoyándome con sus consejos, con sus comentarios positivos y con sus deseos de verme culminando la carrera universitaria.

Este logro va dedicado para todos por confiar en mí y darme su apoyo incondicional gracias a todos.

William Sarabia

RESUMEN

El empleo de combustibles fósiles en sistemas de generación eléctrica se ha empleado por aspectos como estabilidad y confiabilidad mismos que estas máquinas presentan. La eficiencia energética se define como la cantidad de energía útil obtenida de una máquina, existen diversos factores que contribuyen a que la eficiencia de una maquina sea más baja de la estipulada por el fabricante, las pérdidas de calor son las más representativas junto con las pérdidas mecánicas, los fabricantes especifican en sus manuales una eficiencia de entre 80% y 90% para este tipo de máquinas.

La herramienta informática, permitió evaluar la eficiencia energética en generadores de combustión interna, se consolidó una base de datos misma que se obtuvo de la clasificación de información de los datos históricos generados por los operarios del grupo electrógeno. Luego, en el software Matlab mediante el empleo de redes neuronales se analizó las variables de entrada que intervienen en la predicción, estas fueron la energía térmica, capacidad de carga, temperatura ambiente, altura sobre el nivel del mar en la que se ubica el grupo electrógeno y las pérdidas presentes en la máquina. Para la determinación de pérdidas presentes en la maquina se empleó el método B de la normativa IEEE std112, misma que en su contenido ofrece la guía para el cálculo de pérdidas presentes en las máquinas y la eficiencia energética, el resultado que se obtuvo con la herramienta informática puede tomarse como referencia para actividades como soporte técnico de la máquina, mantenimiento y operación eficiente del grupo electrógeno.

Palabras clave: generador, eficiencia, perdidas, herramienta informática, red neuronal.

ABSTRACT

THEME:

“COMPUTER TOOL FOR EFFICIENCY ENERGETIC EVALUATION IN INTERNAL CONBUSTION GENERATORS”

Authors:

Chicaiza Quisaguano Gilson Eduardo
Sarabia Ramos William Paul

The use of fossil fuels in electricity generation systems has been used for aspects such as stability and reliability that these machines present. Energy efficiency is defined as the amount of useful energy obtained from a machine, there are various factors that contribute to the efficiency of a machine being lower that stipulated the manufacturer, heat losses are the most representative along with mechanical losses, manufacturers specify in their manuals an efficiency of between 80% and 90% for this type of machines.

The computer tool made it possible to evaluate the energy efficiency in internal combustion generators, a database was consolidated, which was obtained from the classification of information from the historical data generated by the operators of the generator set. Then, in the Matlab software, through the use of neural networks, the input variables involved in the prediction were analyzed, these were thermal energy, load capacity, room temperature, height above sea level where the generator set is located and the losses present in the machine. For the determination of losses present in the machine, method B of the IEEE std112 standard was used, which in its content offers the guide for calculating losses present in the machines and energy efficiency, the result that was obtained with the computer tool and can be taken as a reference for activities such as technical support of the machine, maintenance and efficient operation of the generator set.

Keywords: generator, efficiency, losses, computer tool, neural network.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, CHICAIZA QUISAGUANO GILSON EDUARDO y SARABIA RAMOS WILLIAM PAUL**, cuyo título versa “**HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN GENERADORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

MsC. Vladimir Sandoval V.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0502104219

1803027935 Firmado
VICTOR digitalmente por
HUGO 1803027935
ROMERO VICTOR HUGO
GARCIA ROMERO GARCIA
Fecha: 2021.03.09
12:12:33 -05'00'

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
2.1.	El problema:.....	2
2.1.1.	Situación Problemática:	2
2.1.2.	Formulación del problema:	2
2.2.	OBJETO Y CAMPO DE ACCCION	2
2.3.	Beneficiarios:	2
2.3.1.	Beneficiarios directos	2
2.3.2.	Beneficiarios indirectos	2
2.4.	Justificación:	3
2.5.	Hipótesis	4
2.6.	Objetivos:.....	4
2.6.1.	General:.....	4
2.6.2.	Específicos:.....	4
2.7.	Sistema de tareas con relación a los objetivos planteados.....	5
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1.	Antecedentes.....	6
3.2.	Eficiencia Energética	7
3.2.1.	Eficiencia Energética en Ecuador	8
3.2.2.	Objetivo de la Eficiencia Energética en Ecuador	8
3.2.3.	Evaluación de Eficiencia Energética en Generadores	9
3.3.	Generalidades de Motores Generadores	9
3.4.	Motor	10
3.5.	Fundamento de los Generadores Eléctricos.....	10
3.5.1.	Generadores Primarios.....	11

3.5.2. Generadores Secundarios.....	12
3.5.3. Elementos de los Generadores	12
3.6. Funcionamiento del Generador.....	14
3.6.1. Funcionamiento en Vacío	16
3.6.2. Funcionamiento en Estado Estable	17
3.6.3. Funcionamiento con Carga	18
3.6.4. Velocidad de Giro de un Generador	19
3.7. Pérdidas de los Generadores	20
3.7.1. Pérdidas Eléctricas o Pérdidas en el Cobre.....	20
3.7.2. Pérdidas en el Núcleo	21
3.7.3. Pérdidas Mecánicas	22
3.7.4. Pérdidas Dispersas o Adicionales	22
3.8. Diagrama del Flujo de Potencia.....	23
3.9. Curva de Eficiencia.....	24
3.10. Eficiencia del Generador	25
3.11. Factores que afectan la Eficiencia en Generadores	26
3.11.1. Valoración de Generadores.....	26
3.11.2. Reducción de Potencia en Generadores.....	27
3.11.3. Problemas de Combustible	27
3.11.4. Consideraciones de Carga.....	27
3.12. Factores Ambientales que Afectan la Función del Generador	28
3.12.1. Altitud.....	28
3.12.2. Temperatura	28
3.12.3. Humedad.....	28
3.13. Interfaz en Matlab.....	29
3.13.1. Características de Matlab.....	29
3.13.2. Toolbox Especiales	30
3.14. Método de Programación.....	30
3.14.1. Base de Datos	30
3.14.2. Redes Neuronales	30
3.14.3. Red Perceptron Multicapa	32
3.14.4. Función de Activación	32
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	33

4.1.	METODOLOGÍA.....	33
4.1.1.	Método Deductivo	33
4.1.2.	Método Analítico	33
4.1.3.	Investigación Bibliográfica.....	33
4.1.4.	Investigación de Campo	33
4.1.5.	Investigación Tecnológica	34
4.1.6.	Operacionalización de Variables	34
4.2.	Población y Muestra	36
4.2.1.	Tipo de Muestreo	36
4.2.2.	Técnicas e Instrumentos	37
4.2.3.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	38
4.2.4.	Registro de Información	39
4.3.	Normas Internacionales aplicadas para determinar la Eficiencia Energética	39
4.3.1.	Norma IEC 60034-2-1	40
4.3.2.	Norma IEEE 112.....	41
4.4.	Desarrollo de la herramienta informática	44
4.4.1.	Elección del Lenguaje de Programación	44
4.4.2.	Recolección de Datos	46
4.4.3.	Diseño de Modelo de Red Neuronal.....	46
4.4.4.	Conjunto de Entrenamiento y Prueba.....	47
4.4.5.	Selección de la Arquitectura de la Red Neuronal	47
4.4.6.	Diseño del Modelo Matemático de la Red Neuronal.....	50
4.4.7.	Interfaz Gráfica de la Herramienta Informática.....	56
4.4.8.	Reporte del Entrenamiento de la Red Neuronal	59
4.4.9.	Reportes de los índices de Eficiencia Energética	61
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	62
5.1.	Análisis de la eficiencia del motor generador Waukesha 17042gsi usando Matlab	62
5.2.	Análisis de la eficiencia del motor generador Waukesha 17042gsi usando Microsoft Excel	65
5.3.	Comparación de resultados.....	68
5.4.	Calculo manual de eficiencia del generador	71
5.5.	EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICO.....	74
5.5.1.	Económico	74

5.5.2. Evaluación Técnica.....	75
5.5.3. Evaluación Ambiental	76
5.5.4. Evaluación Social	76
6. CONCLUSIONES DEL PROYECTO	76
6.1. CONCLUSIONES	76
6.2. RECOMENDACIONES.....	77
7. BIBLIOGRAFÍA	78
8. ANEXOS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Circuito de experimentación de Faraday [12].	10
Figura 3.2. Grafica de un motor generador a gas Waukesha [13].	10
Figura3.3. Diagrama esquemático de un generador [15].	11
Figura 3.4. Rotor cilíndrico y de polos salientes [14].	13
Figura 3.5. Estator de un generador trifásico [16].	14
Figura 3.6. Elementos de un generador [18].	16
Figura 3.7. Curva característica en vacío [20].	16
Figura 3.8. Circuito equivalente del generador síncrono [20].	17
Figura 3.9. Reacción del inducido en el generador [20].	18
Figura 3.10. Curva de característica exterior [20].	19
Figura 3.11. Curvas características de regulación [20].	19
Figura 3.12. Curva de obtención de las pérdidas adicionales en función de la potencia útil de la máquina [22].	23
Figura 3.13. a) Diagrama de flujo de potencia de un generador trifásico, b) Diagrama de flujo de potencia de un motor trifásico [21].	24
Figura 3.14. Pérdidas y eficiencia en función de la potencia mecánica [15].	25
Figura 3.15. Nodo o unidad [27].	31
Figura 4.1. Diagrama de Flujo de la herramienta informática.	36
Figura 4.2. Reporte PG Waukesha Central.	38
Figura 4.3. Base de datos de la herramienta informática.	46
Figura 4.4. Modelo de la red neuronal	50
Figura 4.5. Interfaz gráfica del sistema.	56
Figura 4.6. Menú Principal de la herramienta informática.	57
Figura 4.7. Opción de la base de datos de la herramienta informática.	58
Figura 4.8. Opción de la red neuronal.	58
Figura 4.9. Opción de Predicción.	59
Figura 4.10. Entrenamiento red neuronal.	60
Figura 4.11. Entrenamiento y porcentaje de error.	60
Figura 4.12. Red Neuronal.	61
Figura 4.13. Predicción de Eficiencia.	62

Figura 5.1. Historial de datos del motor Waukesha 1702.	66
Figura 5.2. Eficiencia energética en Microsoft Excel	68
Figura 5.3. Grafica de la eficiencia calculada por la herramienta informática y la calculada en Microsoft Excel	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Velocidades de un generador (rpm).	20
Tabla 4.1. Características de la variable independiente.....	34
Tabla 4.2. Características de la variable dependiente.....	35
Tabla 4.3. Datos informativos de placa del grupo electrógeno.	37
Tabla 4.4. Parámetros de datos a evaluar.	38
Tabla 4. 5. Valores asumidos para la pérdida de carga perdida [29].....	44
Tabla 4.6. Comparación de funciones de activación.....	48
Tabla 5.1. Reporte de energía y eficiencia de la máquina.....	63
Tabla 5.2. Resultado de eficiencia en la herramienta informática a una carga del 100%.	64
Tabla 5.3. Reporte de eficiencia energética a una carga del 100% en Microsoft Excel.....	67
Tabla 5.4. Resultados obtenidos en Matlab y Microsoft Excel con una carga del 100%.....	69
Tabla 5.5. Datos generadores (enero 2020).	72
Tabla 5.6. Presupuesto de equipos utilizados.....	74
Tabla 5.7. Presupuesto de gastos indirectos.	75

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Herramienta informática para la evaluación de la eficiencia energética en generadores de combustión interna.

Fecha de inicio:

Lunes 16 de noviembre del 2020

Fecha de finalización:

Viernes 12 de marzo del 2020

Lugar de ejecución:

Latacunga

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

Proyecto de investigación vinculado:

Estudio de Campos electromagnéticos en Sistemas Eléctricos de Potencia: Caso Provincia de Cotopaxi

Equipo de Trabajo:

Tutor: Jessica Nataly Castillo Fiallos,

Estudiantes: Sarabia Ramos William Paul.

Chicaiza Quisaguano Gilson Eduardo

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713

Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Energías Alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA:

2.1.1. Situación Problemática:

Con el pasar de los años han sido empleados sistemas de generación basados en la combustión de fuentes fósiles por aspectos como la estabilidad, la confiabilidad que estos presentan y principalmente por la alta eficiencia energética que producen.

El concepto de eficiencia energética tiene que ver con la cantidad de energía útil que se puede obtener de un sistema o una máquina [1].

Dependiendo de los niveles de carga que se tenga en el generador y de la potencia que este entregue a la misma se pueden analizar aspectos como el consumo de combustible, la temperatura, humedad del ambiente, además teniendo en cuenta los valores especificados de fábrica se hace necesario contar con una herramienta informática capaz de evaluar la eficiencia energética de este tipo de generadores.

2.1.2. Formulación del problema:

La escasez de una herramienta informática para el análisis de la evaluación de eficiencia energética en generadores de combustión interna.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCION

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330603 Motores Eléctricos.

2.3. BENEFICIARIOS:

2.3.1. Beneficiarios directos

Empresas que cuenten con equipos de combustión interna.

2.3.2. Beneficiarios indirectos

Usuarios conectados al servicio de la red eléctrica.

2.4. JUSTIFICACIÓN:

En el estudio de la ley de conservación de la energía se establece que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma es por lo que, una forma de energía al transformarse en otro dicho cambio ocasionara pérdidas de energía aprovechable, en otras palabras, estas transformaciones no son eficientes.

El estudio de la eficiencia energética de los generadores es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta para el análisis de las maquinas generadoras, mismo que puede ser tomado como referencia para ciertas actividades como el soporte técnico de las máquinas y la toma de decisiones relativas a las actividades de mantenimiento, sustitución, rehabilitación y operación eficiente de estos equipos. Para este análisis existen dos parámetros para verificar el desempeño de las maquinas generadoras, los cuales son: la eficiencia energética y el rendimiento calórico; con el primero se define la relación porcentual entre la energía eléctrica total generada y la energía térmica, provocada por la combustión del hidrocarburo, mientras que el segundo parámetro relaciona la cantidad de energía térmica, la cual proviene de los combustibles, necesaria para generar un kWh de energía eléctrica.

En la actualidad no se cuenta con una herramienta informática capaz de evaluar la eficiencia energética en generadores de combustión interna, motivo por el cual se realiza la presente investigación.

Se tomará como guía la normativa IEEE 112 en la cual se presenta métodos para el cálculo de pérdidas presentes en este tipo de máquinas, para la corrección por altura y temperatura se utiliza la tabla presente en los anexos.

Se desarrollará una herramienta informática para evaluar la eficiencia energética de generadores de combustión interna

Con el desarrollo de la herramienta informática que se basa en un enlace de redes neuronales para el ingreso de datos para facilitar el análisis de la eficiencia energética en los generadores de combustión interna.

2.5. HIPÓTESIS

¿La generación de una herramienta informática permitirá determinar la eficiencia energética en los generadores de combustión interna?

2.6. OBJETIVOS:

2.6.1. General:

Desarrollar una herramienta informática que permita evaluar la eficiencia energética en los generadores de combustión interna.

2.6.2. Específicos:

Recopilar información teórica de fuentes bibliográficas referentes a la eficiencia energética en los generadores eléctricos de combustión interna.

Delimitar los parámetros para la evaluación de la eficiencia energética en generadores de combustión interna.

Desarrollar una herramienta informática mediante el uso de una interfaz interactiva en el software Matlab.

Validar la herramienta informática mediante comparación de resultados.

2.7. SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Recopilar información teórica de fuentes bibliográficas referentes a la eficiencia energética en los generadores eléctricos de combustión interna.	Investigación bibliográfica de los generadores de combustión interna. Lectura de artículos referentes a la eficiencia energética en equipos de generación de combustión interna.	Obtención de: Información actualizada y Precisa. Datos de generadores con las características especificadas por fabricantes.	Investigación bibliográfica: Tesis Artículos Científicos Normativas vigentes Papers Revistas científicas
Delimitar los parámetros para la evaluación de la eficiencia energética en generadores de combustión interna	Obtención de datos relevantes del generador de combustión interna	Obtención de parámetros específicos para la evaluación.	Investigación de campo
Desarrollar una herramienta informática mediante el uso de una interfaz interactiva en el software Matlab.	Estudio de redes neuronales. Identificación de las variables de entrada y salida.	Funcionamiento de herramienta informática	Investigación bibliográfica: Tesis Revistas científicas Programas informáticos: Excel Matlab
Validar la herramienta informática mediante comparación de resultados.	Análisis de datos obtenidos.	Reporte de resultados de eficiencia generados por la herramienta informática.	Simulación: Matlab Análisis: Normativas vigentes

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

En el año 2017 se realizó el “Diseño de una herramienta para evaluar la eficiencia energética de un sistema de compresión, Oviedo”, mediante el desarrollo de una herramienta informática capaz de calcular la eficiencia energética del sistema de compresión y purificación de aire de la planta de Praxair en Gijón, esto se ha realizado a partir del estudio individualizado de cada uno de sus equipos, en el trabajo se cuenta tanto con la monitorización en tiempo real del sistema, y se tiene un histórico del último trimestre, que son generados automáticamente [2].

En la revista Ingeniería Energética se encuentra el proyecto, “Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor”, en el desarrollo del trabajo se ha hecho uso de equipos no invasivos como la cámara termo gráfica, medidor de flujo ultrasónico y analizador de gases de la combustión, para determinar el perfil de temperatura superficial, el flujo de agua y la composición de los gases de combustión interna, los cuales son necesarios para el cálculo del rendimiento energético que se ha realizado aplicando los métodos convencionales directo e indirecto y la evaluación energética que valora la irreversibilidad interna de la caldera. Lo cual permite el grado de sobredimensionamiento en instalaciones que trabajan subutilizadas en el momento de la inspección y se estima el impacto ambiental que produce el funcionamiento de dicho equipo [3] .

En el año de 2006 en la revista Redalyc se desarrolló un “Software para el diagnóstico Energético en sistemas de Generación de Vapor de agua”, se ha realizado el diagnóstico para mejorar el ahorro de energía en grandes potenciales de generación y distribución de vapor, con la implementación de un Software de cálculo para el estudio de los sistemas, determinando sus condiciones de operación y las oportunidades de ahorro de energía, el desarrollo de este software se han verificado los resultados referidos a la eficiencia energética, producción específica, pérdidas de calor por aislamientos, superficies y otros parámetros que se determinan en el balance energético que son realizados en el sistema de generación y distribución de vapor; con este desarrollo permite la realizar un informe que incluye los resultados técnicos y económicos que avalan las medidas de ahorro para aplicar al sistema evaluado [4].

En la Universidad Tecnológica de Pereira, realizaron el proyecto “Evaluación de la eficiencia de generadores de vapor – estudio de caso: ECOPETROL S.A”. En el trabajo que han presentado se desarrolló utilizando la metodología de medición y cálculo propuesta por la

norma ASME PTC 4.1 y el desarrollo de un programa en el Software EES que permita realizar la evaluación para diferentes condiciones de operación, permitiendo evaluar la eficiencia para diferentes condiciones de operación y calcular las propiedades termodinámicas de los fluidos en estudio en diferentes estados [5].

En el año de 2019 en la Universidad de Sevilla se desarrolló la “Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor”, con una revisión en detalle del procedimiento que sigue cada método para la obtención del rendimiento de los generadores a vapor, con una clasificación de los métodos que se han implementado en base a distintos factores que presentan los generadores de vapor, con el análisis se han evaluado los métodos, observando las diferencias y similitudes existentes entre ellos con un análisis cuantitativo de algunos de los métodos. Se han evaluado, para unos mismos datos de entrada, diferentes métodos, de forma que se establecen unas conclusiones de su comportamiento [6].

En la revista Ingeniería UC se publicó el estudio de “Valoración energética y termo económica de los sistemas de vapor. Una herramienta informática aplicada en el marco de la gestión de energía”, en el proyecto se ha empleado el diseño y desarrollo de una herramienta informática para la valoración energética y de parámetros termo económicos de la generación de vapor, por ser esta ampliamente utilizada a la hora de alimentar a diversos procesos de generación, esta herramienta arroja un reporte de resultados detallado, facilitándole al usuario el análisis de los flujos energéticos involucrados, para el posterior establecimiento de relaciones entre la energía útil y la destruida en el proceso [7].

3.2. Eficiencia Energética

La eficiencia energética de un sistema eléctrico se describe como la reducción de potencias y energías demandadas en el sistema eléctrico evitando que afecte a las actividades normales que se desarrollan en las plantas generadoras de energía eléctrica o en industrias [8].

El concepto de eficiencia energética tiene que ver con la cantidad de energía útil que se puede obtener de un sistema o de una máquina. Así también, este concepto se refiere a todas las acciones que tengan como objetivo una reducción económicamente factible de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de una instalación determinada, asegurando un nivel de calidad igual o superior, y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía [1].

Con un estudio de ahorro y eficiencia energética comprende tres puntos básicos a aplicar.

- Mejorar la sostenibilidad de los sistemas y el medio ambiente mediante la reducción de emisiones de Co₂ al ambiente reduciendo la demanda de energía.
- La aplicación de la eficiencia energética busca una gestión técnica de las instalaciones mejorando su rendimiento y evitando fallas.
- Proceder a reducir el coste económico de la energía y de explotación de las instalaciones.

3.2.1. Eficiencia Energética en Ecuador

Descripción publicada en las políticas del MEER se menciona los conjuntos de acciones, ejecución y planificación, tendencias a optimizar recursos energéticos renovables y consumir la menor cantidad posible de energía, evitando disminuir prestaciones o la calidad final del producto y disminuyendo el impacto en el ambiente [9].

Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en Ecuador (MEER), para el marco del proyecto Eficiencia Energética en la Industria ejecutado por el MEER con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), se adoptó la norma ISO 50001, como NTE INEN ISO 50001 “Sistemas de Gestión de Energía. Requisitos con orientación para su uso” [9].

3.2.2. Objetivo de la Eficiencia Energética en Ecuador

Se encarga de promocionar a la eficiencia energética a través de MEER, mediante incentivos o castigos que se definirán en el reglamento general de esta ley y las regulaciones correspondientes, el estudio de la eficiencia energética presenta como objetivo la obtención de un servicio o producto con el menor consumo de energía [10].

- a) Se busca fomentar la eficiencia en la economía y la sociedad y en el sistema eléctrico
- b) Llegar a promover valores y conductas orientados al empleo racional de los recursos energéticos, mediante el uso de energías renovables.
- c) Proporcionar la utilización racional de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales.

- d) Poder incentivar a la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía.
- e) Disminuir el consumo de combustibles fósiles
- f) Orientar y defender los derechos del consumidor.
- g) Disminuir los impactos ambientales en el manejo sustentable del sistema energético.

3.2.3. Evaluación de Eficiencia Energética en Generadores

Aplicar la evaluación de la eficiencia energética en los generadores de gran capacidad se busca llegar a lograr la eficiencia energética por el lado de la demanda, los cuales están incluidos acciones y prácticas que buscan reducir la demanda de energía, y la evaluación de la eficiencia energética en generadores que se encuentran en las centrales comprenden un conjunto de medidas adoptadas para garantizar la eficiencia a lo largo de la cadena de suministros de medida para garantizar la eficiencia mediante la mejora de operación, mantenimiento y rehabilitación con tecnologías de vanguardia de los equipos actuales [1].

3.3. Generalidades de Motores Generadores

Sin también conocidos como grupos electrógenos son máquinas que se utilizan para convertir energía mecánica en eléctrica. La fuente de energía mecánica es provista por el motor, el generador o también llamado alternador es el encargado de convertir esta energía mecánica en eléctrica mediante un proceso electromagnético [11].

Esta transformación de energía mecánica en eléctrica se la obtiene mediante la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura llamada estator, cuando se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, generando con esto una fuerza electromotriz constante [12].

Dicho principio de funcionamiento obedece a la ley de Faraday que concluye que; una corriente eléctrica puede inducirse en un circuito mediante un campo magnético variable, y que la *fem* inducida en un circuito es proporcional a la rapidez de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito [12].

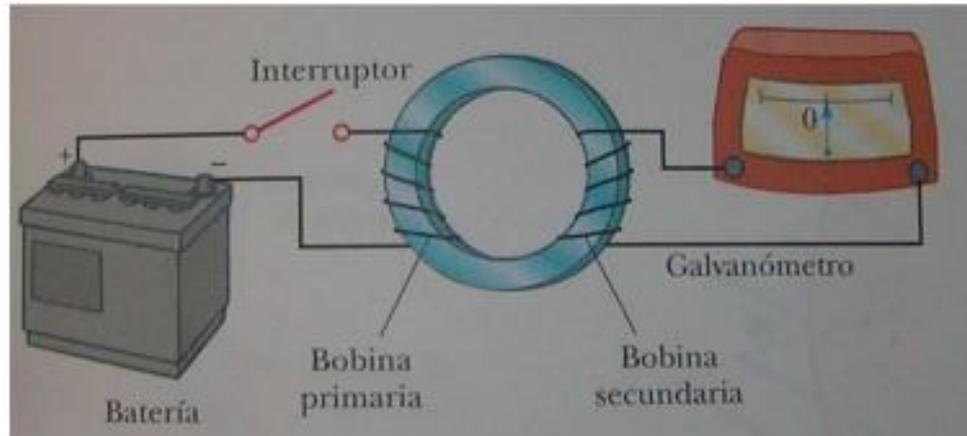


Figura 3.1. Circuito de experimentación de Faraday [12].

3.4. Motor

El motor es el encargado de realizar el giro del rotor dentro del estator mediante un acople mecánico entre ambos, con la finalidad de lograr la generación eléctrica en el generador [11].



Figura 3.2. Grafica de un motor generador a gas Waukesha [13].

3.5. Fundamento de los Generadores Eléctricos

El generador eléctrico es todo dispositivo que es capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos llamados polos, terminales o bornes, transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura denominada también estator [14].

Si se produce un movimiento relativo por alguna fuerza mecánica entre los conductores y el campo, se genera una fuerza electromotriz (F.E.M.) [14].

Los generadores se clasifican fundamentalmente en 2 tipos:

- Primarios
- Secundarios

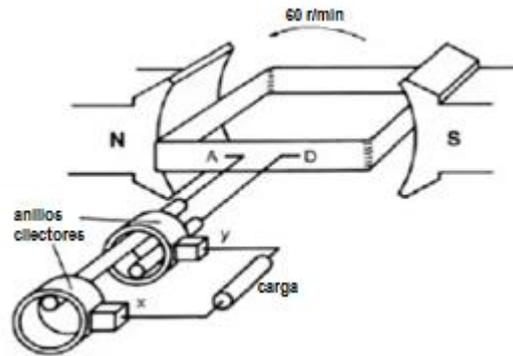


Figura3.3. Diagrama esquemático de un generador [15].

3.5.1. Generadores Primarios

Su principal característica es que convierte la energía proveniente de otra naturaleza en energía eléctrica. Un generador primario es capaz de convertir en energía eléctrica, otro tipo de energía, por ejemplo, la de los dinamos: Corriente directa, de los alternadores: Corriente alterna, etc. [14].

Se ha considerado en general, conversiones directas de energía. Su combustión puede ser con oxígeno y con ello liberar energía térmica, con la cual se podría expandir un gas obteniendo de esta manera energía mecánica la cual haría girar un alternador para que, por inducción magnética, obtenga corriente [14].

La característica principal de cada generador es su fuerza electromotriz (FEM), simbolizada por la letra griega épsilon y medida en voltios (v) y se define como el trabajo que el generador realiza para pasar la carga positiva del polo negativo al positivo por el interior del generador [16].

Existen dos generadores ideales:

- Generador de voltaje: Un generador de voltaje ideal mantiene un voltaje fijo independiente de la resistencia de la carga que pueda estar conectada [16].

- **Generador de corriente:** El generador de corriente ideal es el que mantiene una corriente constante por el circuito externo con independencia de la resistencia de la carga. El generador mencionado no existe en la práctica [16].

3.5.2. Generadores Secundarios

Su principal caracterización quiere decir que puede obtener la corriente eléctrica desde otra fuente, para luego almacenarla y estar disponible para abastecer a otros aparatos o accesorios eléctricos. Estos generadores, al ir perdiendo su energía, deben de ser alimentados nuevamente por la fuente que los proveyó de energía [17].

Los generadores secundarios se caracterizan por obtener la energía eléctrica desde otra fuente, diferente a los generadores primarios, por cuanto éstos reciben, almacenan y luego proveen la energía acumulada para el consumo eléctrico. Estos generadores, al ir perdiendo su energía deben ser alimentados nuevamente por la fuente que los proveyó de energía [18].

3.5.3. Elementos de los Generadores

De acuerdo a [14] los elementos fundamentales que conforman el generador eléctrico son cuatro, los cuales se detallan a continuación.

- Rotor
- Estator
- Sistema de enfriamiento
- Excitatriz

a. Rotor

Esta es la parte móvil de un generador generalmente es donde está ubicado el devanado de campo, por este devanado es necesario que circule una corriente continua para producir el campo magnético constante. Ya que el rotor está en movimiento, es difícil alimentar al devanado de campo con corriente continua, razón por la cual se requiere de un sistema de anillos rozantes y escobillas por los cuales se da el ingreso de corriente desde una fuente externa [14].

Existen dos tipos de rotores para generadores síncronos: rotor de polos salientes y rotor cilíndrico o de polos lisos. El rotor de polos salientes es usado por generadores que operan a velocidades bajas, razón por la cual se requiere de un gran número de polos para generar voltajes, y a su vez una frecuencia de 50 o 60 HZ dependiendo de la región en donde se encuentre, en este caso son los generadores hidráulicos [14].

Debido a que las turbinas de gas y vapor funcionan a altas velocidades se requiere de un número menor de polos para la generación de electricidad, razón por la cual se aplica un rotor de tipo cilíndrico ya que estos concentran grandes cantidades de masa a sus extremos debido a las altas velocidades podría producirse una acumulación de inercia lo que aría que se desubique el rotor del eje produciéndose un daño en el equipo [14].

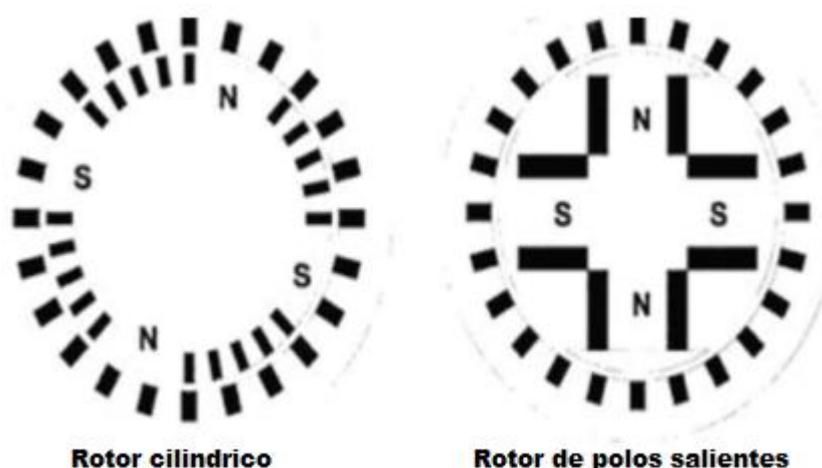


Figura 3.4. Rotor cilíndrico y de polos salientes [14].

b. Estator

Considerada como la parte fija en el cual está ubicado el devanado de armadura.

Formado por laminaciones delgadas de acero sumamente permeables a fin de reducir las pérdidas en el núcleo. Las laminaciones se mantienen juntas por medio del bastidor del estator. El bastidor, que puede ser de hierro fundido o fabricarse con placas soldadas de acero suave, no se diseña para conducir flujo, sino para dar apoyo mecánico al generador síncrono. El interior del estator tiene una variedad de ranuras cuyo objetivo es alojar los gruesos conductores de la armadura (devanados). Los conductores de la armadura se encuentran simétricamente dispuestos para formar un devanado polifásico equilibrado. Para ello el número de ranuras por polo y por fase debe ser un número entero [16].



Figura 3.5. Estator de un generador trifásico [16].

c. Sistema de Enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento en los generadores son:

- Aire enfriado
- Intercambiador de calor aire-aire
- Intercambiador de calor aire-agua

d. Excitador

El campo es la parte rotatoria de una maquina síncrona y se alimenta por medio de un devanado excitado por corriente continua para producir el flujo magnético; esta excitación en algunos casos es proporcionada por una fuente de corriente continua auto excitado y acoplado en el rotor de la maquina síncrona, a este generador se lo conoce como excitador [11].

3.6. Funcionamiento del Generador

El principio de funcionamiento de los generadores se basa en el fenómeno de inducción electromagnética. Esta ley nos dice que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. Esto quiere decir que, si tenemos un campo magnético generando un flujo magnético, necesitamos una espira por donde circule una corriente para conseguir que se genere la f.e.m. (fuerza electromotriz) [14].

El funcionamiento del generador se basa en la fuerza electromotriz, que es capaz de producir y mantener una diferencia de potencial en dos terminales de un circuito abierto, o se puede generar un flujo de corriente en un circuito cerrado, si se genera una diferencia de potencial en dos conductores se aplica la siguiente formula [19].

$$fem = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l} \quad (3.1)$$

Dónde:

fem Es la fuerza electro motriz, \vec{v} es la velocidad a la que se desplaza, \vec{B} es el campo magnético, \vec{l} es la longitud del circuito.

Cuando se produce el caso de que fluye una corriente por un circuito cerrado esta relación cambia y se define como:

$$fem = l \times B \cdot i \quad (3.2)$$

Dónde:

fem Es la fuerza electro motriz, l es la longitud del circuito, B es el Campo magnético, i es la Corriente eléctrica

Estas relaciones son utilizadas para convertir energía mecánica en eléctrica.

Básicamente el funcionamiento del generador de corriente alterna, se basa en el principio general de inducción de voltaje en un conductor en movimiento cuando este atraviesa un campo magnético. Este generador consta de dos partes fundamentales, el inductor, que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor el cual es atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo [17].

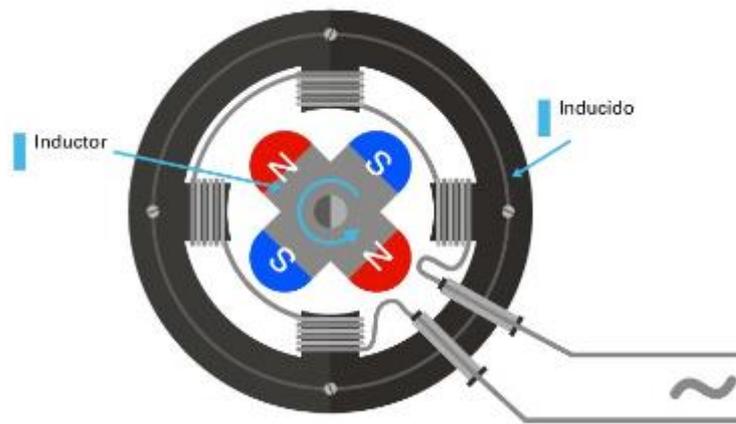


Figura 3.6. Elementos de un generador [18].

3.6.1. Funcionamiento en Vacío

El generador está operando en vacío cuando no tiene carga o no existe caída de tensión, la tensión que se medirá en los terminales del generador es la fmm inducida que varía de la misma forma que el flujo frente a la corriente de excitación, cuando el generador no está conectado a carga la corriente del inducido es cero [20].

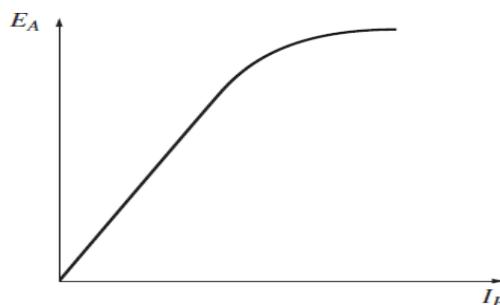


Figura 3.7. Curva característica en vacío [20].

En la Figura 3.7 se presenta un ejemplo genérico de una curva característica en vacío de la máquina donde se observa que la tensión generada en los terminales de la máquina E_A es directamente proporcional al flujo, teniendo en consideración que dicho flujo depende de la corriente que fluye en el devanado de campo del rotor I_F , por lo que, si E_A empieza a crecer lentamente con respecto a I_F , este evento ocurre debido al fenómeno de saturación del circuito magnético del núcleo [20].

Los generadores al ser máquinas sincrónicas cuya frecuencia depende de la velocidad de rotación y del número de polos que la máquina tiene, el valor del voltaje que se genera depende

la velocidad, la excitación del campo y del factor de potencia de la carga lo que significa que la frecuencia eléctrica producida esta sincronizada [17].

$$f = \frac{np}{120} \quad (3.3)$$

Donde:

f Es la frecuencia, np representa al número de polos de la máquina.

3.6.2. Funcionamiento en Estado Estable

Cuando el generador está operando en un estado estable son muy diferentes de aquellas cuando las condiciones están cambiando, el generador está operando en una condición de carga constante se modela en el sistema de energía como una fuente de tensión conectada a los terminales del generador a través de la impedancia síncrona del generador. La resistencia del generador es despreciable, y es común considerar solo la reactancia del generador, en este caso la reactancia síncrona X_s [20].

Donde $X_s = X_a + X$.

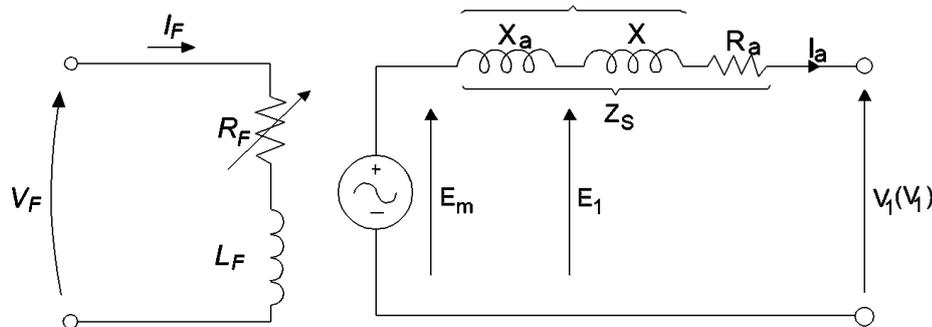


Figura 3.8. Circuito equivalente del generador síncrono [20].

Donde:

X_s es la reactancia síncrona, X_a es la reactancia de reacción del inducido, X es la reactancia de fuga.

En operación de estado estable los rotores de cada generador síncrono conectado al sistema rotan a la misma velocidad de sincronismo y la potencia entregada por el generador es igual a la potencia mecánica aplicada por la turbina [20].

3.6.3. Funcionamiento con Carga

Durante la operación de estado estable, la corriente del estator produce un componente del flujo y pasa a través del mismo circuito magnético que el flujo producido por el devanado del campo del rotor que es un camino de flujo efectivo, y se puede esperar un valor relativamente alto de reactancia, en el rango de 1.5 a 2.1 por unidad y la reactancia síncrona por unidad es aproximadamente igual a la recíproca de la relación de cortocircuito [20].

El flujo producido por el estator actúa junto con el flujo producido por el rotor para crear el flujo total "útil". La forma en que el flujo producido por el estator afecta al flujo producido por el rotor se denomina "reacción de inducido" del generador. El efecto de la reacción del inducido sobre el campo magnético del rotor del generador varía con la corriente demandada por la carga, con la saturación del circuito magnético y con la variabilidad del entrehierro [20].

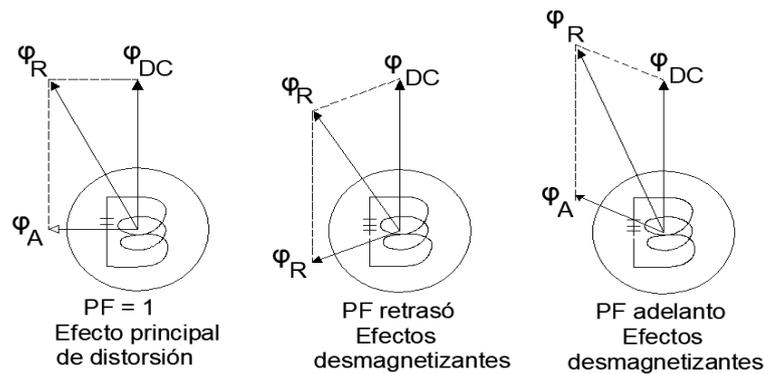


Figura 3.9. Reacción del inducido en el generador [20].

Donde:

ϕ_R Es el flujo resultante de la máquina, ϕ_A es el flujo producido por la armadura, ϕ_{DC} es el flujo de campo DC.

La reacción del inducido del generador afecta la regulación de tensión del generador presentando factores de potencia de retardo y la reacción del inducido tiende a acentuar la caída de tensión en el generador por lo que requiere que el excitador suministre corriente de CC adicional para la compensación debido a esto en la Figura 3.9 se puede observar cómo cambia la tensión del terminal del generador a medida que cambia la carga permaneciendo constante las demás características [20].

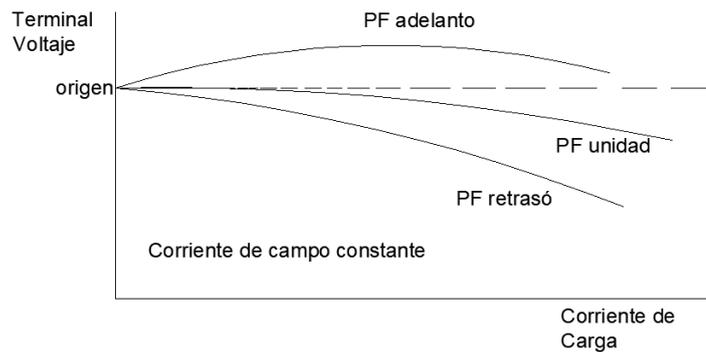


Figura 3.10. Curva de característica exterior [20].

En la Figura 3.10., se observa las curvas características de regulación del generador síncrono.

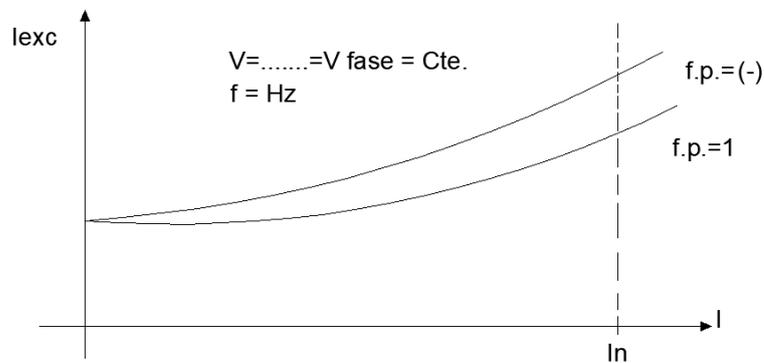


Figura 3.11. Curvas características de regulación [20].

Estas curvas representan la relación entre la corriente de excitación y la corriente de carga manteniendo constante la tensión, la frecuencia y el factor de potencia y se observa que las curvas reflejan la necesidad de aumentar la corriente de excitación de manera proporcional conforme la carga aumenta [20].

3.6.4. Velocidad de Giro de un Generador

El generador síncrono puede generar potencia a cualquier velocidad que produzca el corte relativo entre líneas de campo magnético del inductor para conectarse en sincronismo con un sistema de transmisión y consumo es necesario estar a una velocidad de giro definida. Está relacionada con la frecuencia del sistema, los generadores en su diseño deben considerar la frecuencia del sistema al que se van a conectar para que su velocidad de giro y un aspecto constructivo como es el número de polos del generador sean los adecuados, la siguiente expresión representa la relación entre velocidad de giro y número de polos de un generador [20].

$$v [rpm] = 120 \cdot \frac{f}{N} \quad (3.4)$$

Donde:

v Hace referencia a la velocidad en RPM que representa las revoluciones por minuto, f es la frecuencia del sistema que viene dada en Hertz, y N es el número de polos.

El rotor gira con la misma velocidad que el campo magnético, relaciona la velocidad de rotación con la frecuencia eléctrica resultante, debido a que la potencia eléctrica es generada a 50 o 60 Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina.

Tabla 3.1. Velocidades de un generador (rpm) [20].

n° polos	rpm (50 Hz)	rpm (60 Hz)
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

3.7. Pérdidas de los Generadores

Las pérdidas que se presentan en las máquinas eléctricas se pueden dividir en cuatro categorías básicas.

- Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre (pérdidas $I^2 \cdot R$)
- Pérdidas en el núcleo.
- Pérdidas mecánicas.
- Pérdidas dispersas o adicionales

3.7.1. Pérdidas Eléctricas o Pérdidas en el Cobre

Las pérdidas en el cobre son producidas por el calentamiento resistivo que se presenta en los devanados del estator (inducido) y del rotor (campo) de la máquina, y las pérdidas de cobre en el estator (P_{PCE}) en una máquina trifásica están dadas por la ecuación [21].

$$P_{PCE} = 3 \cdot I_A^2 \cdot R_A \quad (3.5)$$

Donde:

I_A Es la corriente que fluye en cada uno de las fases del inducido y R_A es la resistencia de cada fase del inducido.

Las pérdidas de cobre en el rotor (P_{PCR}) de una maquina síncrona están dadas por:

$$P_{PCR} = I_F^2 \cdot R_F \quad (3.6)$$

Donde:

I_F Es la corriente que fluye en el devanado de campo del rotor y R_F es la resistencia de devanado de campo (para la aplicación de estos cálculos la resistencia que se va a utilizar es la resistencia del devanado a una temperatura normal de operación).

3.7.2. Pérdidas en el Núcleo

Las pérdidas en el núcleo son pérdidas generadas por histéresis y corrientes parasitas que se originan en el material magnético del motor, en las perdidas por histéresis se da a la reversión de la magnetización del núcleo de la armadura, cuando este pasa por debajo de un par de polos que experimenta un ciclo completo de inversión magnética, y para aplicar el cálculo se considera la frecuencia de la inversión magnética [21].

$$F = \frac{N \cdot v}{120} \quad (3.7)$$

Donde:

F Es la frecuencia de inversión magnética, N es el número de polos y v es la velocidad en rpm.

Y las pérdidas dependen del volumen y grado del hierro, la frecuencia de la inversión magnética y el valor de la densidad de flujo para el cálculo de la perdida por histéresis [21].

$$Wh = n \cdot B_{max} \cdot 1.6 \cdot F \cdot v_o \quad (\text{vatios}) \quad (3.8)$$

Donde:

Wh Son las pérdidas por histéresis, n es constante de histéresis de Steinmetz, v_0 es volumen del núcleo en m^3 .

3.7.3. Pérdidas Mecánicas

Las pérdidas mecánicas en una maquina se consideran a las pérdidas que se encuentran asociados con los efectos mecánicos, en las cuales se considera dos tipos de pérdidas mecánicas que son por fricción y rozamiento con el aire. Las pérdidas por fricción son causadas por la fricción en los cojinetes de las máquinas, y las pérdidas por rozamiento con el aire son generadas por la fricción entre las partes móviles de la máquina y el aire dentro de la caja del motor, por lo general estas pérdidas van variando con forme al cubo de la velocidad de rotación de la máquina [21].

Pérdidas por rozamiento y ventilación (P_{fw}) estas son provocadas por el rozamiento y todas aquellas perdidas debidas al rozamiento aerodinámico en todas las piezas de la máquina, incluyendo la energía absorbida por los ventiladores acoplados al eje y en las maquinas auxiliares que forman una parte de la máquina [22].

3.7.4. Pérdidas Dispersas o Adicionales

Las pérdidas dispersas están consideradas las que no se pueden ubicar en ninguna de las categorías descritas anteriormente, estas pérdidas son difíciles de tener en cuenta, se debe a impresiones en el diseño y modelado de la máquina, se considera en ocasiones que las pérdidas parásitas son el 1% de la carga completa [21].

Pérdidas adicionales (P_{LL}) estas son dadas por la carga de corriente en el hierro activo y piezas de metal exceptuando a las bobinas conductoras este tipo de pérdidas se producen por las corrientes de Foucault en las bobinas conductoras [22].

El método de asignación de pérdidas para lo cual se hace a partir de la siguiente función a trozos.

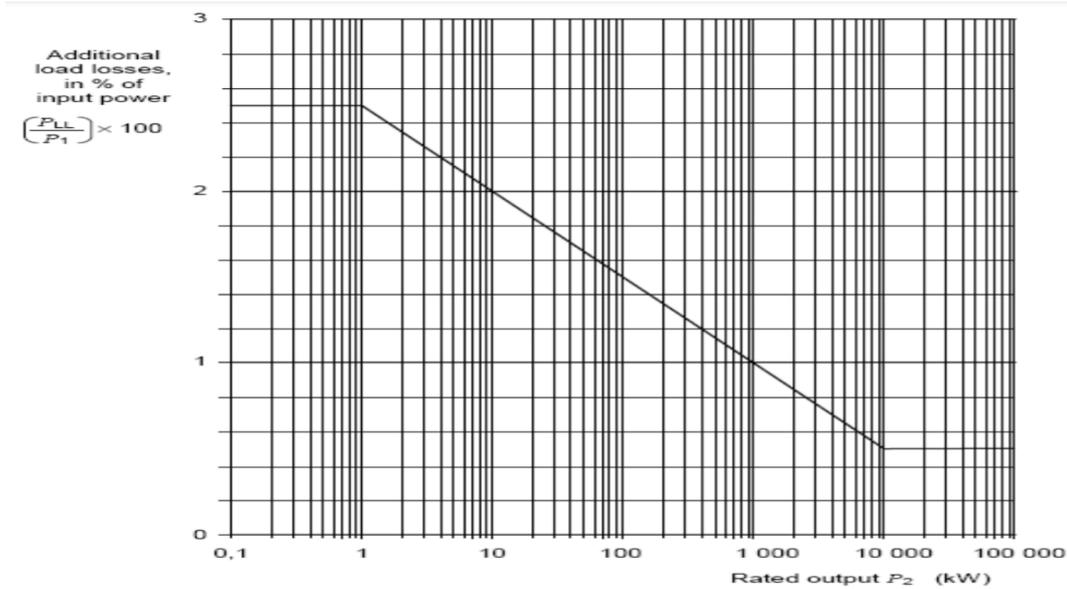


Figura 3.12. Curva de obtención de las pérdidas adicionales en función de la potencia útil de la máquina [22].

A continuación, se muestran las ecuaciones de las pérdidas adicionales:

$$P_2 \leq 1kW \quad P_{LL} = 0.025 \cdot P_1 \quad (3.9)$$

$$1kW \leq P_2 \leq 10000kW \quad P_{LL} = P_1 \cdot [0.0025 - 0.005] \cdot \log_{10} \cdot \left(\frac{P_2}{1kW}\right) \quad (3.10)$$

$$P_2 \geq 10000kW \quad P_{LL} = P_1 \cdot 0.005 \quad (3.11)$$

Donde:

P_2 Es la potencia útil de la máquina, P_{LL} son las pérdidas adicionales y P_1 es la potencia de la máquina.

3.8. Diagrama del Flujo de Potencia

Una técnica aplicada para considerar las pérdidas de potencia en generadores es mediante el diagrama de flujo de potencia como se representa en la Figura 3.13, en esta gráfica se puede apreciar el suministro de la potencia mecánica al generador, procediendo a restar las pérdidas establecidas en situaciones que sean ideales, la potencia restante que se genera se convierte en potencia eléctrica de salida del generador [21].

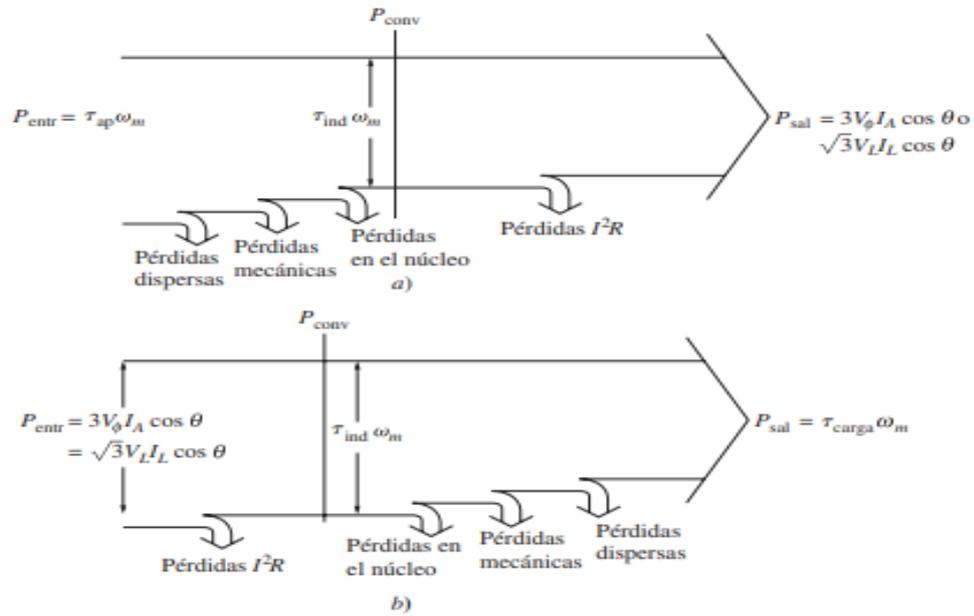


Figura 3.13. a) Diagrama de flujo de potencia de un generador trifásico, b) Diagrama de flujo de potencia de un motor trifásico [21].

3.9. Curva de Eficiencia

Los generadores toman la potencia mecánica y la transforman en potencia eléctrica, y los motores utilizan la potencia eléctrica y generan potencia mecánica, en estas relaciones no toda la potencia de entrada a las maquinas se llega a transformar en potencia de salida útil en el extremo por lo que siempre se presentan pérdidas asociadas con el proceso de transformación [21].

La eficiencia de una maquina está dada por la relación de potencia de salida útil y la potencia de entrada.

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{entr}} \cdot 100\% \tag{3.12}$$

La eficiencia para un generador se establece la diferencia de potencia de entrada y la potencia de salida de la maquina son las pérdidas que se presentan dentro de la máquina, por lo que se llega a calcular la eficiencia aplicando [21].

(3.13)

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + p} \cdot 100\%$$

Donde:

η Es la eficiencia en %, P_{sal} es la potencia de salida en W , P_{entr} es la potencia de entrada en W y p son las pérdidas totales en W .

La eficiencia de una máquina baja cuando la energía térmica se convierte en energía mecánica, y la eficiencia de una turbina de vapor va a estar de 25 a 40 por ciento, y en los motores de combustión interna va a estar oscilando entre 15 y 30 por ciento, en las máquinas eléctricas la eficiencia puede perder un 20 por ciento en forma de calor del 80 por ciento de la energía que recibe [15].

En la Figura 3.14 se representa una gráfica de la curva de la eficiencia en donde se presenta el aumento abruptamente con forma se va incrementando la potencia y se estabiliza dentro de un amplio intervalo de potencia y en otro momento va ir decreciendo, estas curvas de eficiencia de las máquinas eléctricas tanto en c.a como en c.d, siempre se busca alcanzar la eficiencia pico a plena carga [15].

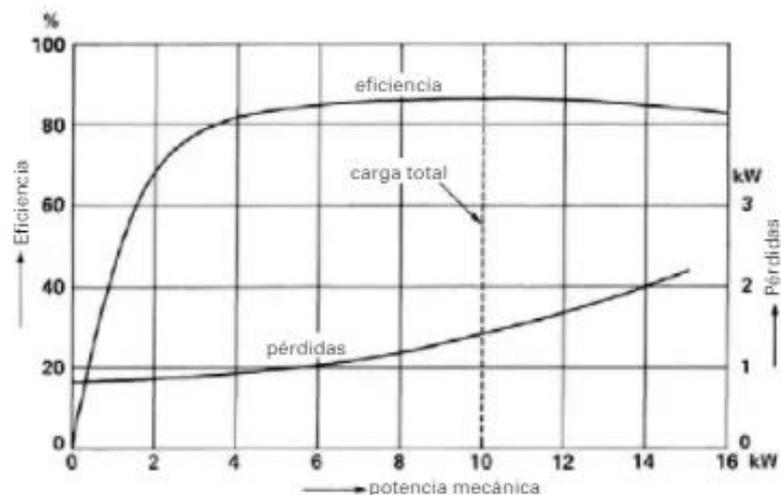


Figura 3.14. Pérdidas y eficiencia en función de la potencia mecánica [15].

3.10. Eficiencia del Generador

La aplicación de un análisis de la eficiencia de un generador en las centrales generadoras se utiliza para dar un soporte técnico, mediante una discusión se procede a tomar decisiones de las

actividades que se proceden a desarrollar al equipo en las centrales, presentando soluciones de mantenimiento, rehabilitación o sustitución de los equipos, y los factores a considerar para la decisión [23].

- **Potencia instalada:** Presenta la información del rango de potencia para la proyección del grupo electrógeno a instalar, para lo que se deben conocer las cargas a respaldar.
- **Proyecciones de crecimiento:** se establece una consideración del crecimiento en demanda de energía para un dimensionamiento adecuado del grupo.
- **Motores y tipo de partidas asociadas:** En los motores un análisis establece cuando arrancan a plena carga estas consumen una cantidad de corriente superior a la nominal, que se debe considerar en la capacidad del grupo.
- **Cargas críticas:** Determinar qué es lo que se desea respaldar, por prioridad del cliente y su proceso productivo o uso.

3.11. Factores que afectan la Eficiencia en Generadores

En el estudio de la eficiencia los sistemas eléctricos presentan condiciones establecidas para un funcionamiento óptimo del sistema, algunas fallas en estas condiciones ocasionan que los dispositivos funcionen con una menor eficiencia y en los generadores presentan la misma situación [24].

Los generadores generalmente están diseñados para funcionar de manera más eficiente al nivel del mar o cerca de él en condiciones estándar de temperatura y presión, cualquier fluctuación de las condiciones de puede dañar los generadores y causar una disminución de la producción. En circunstancias extremas, los generadores pueden dejar de funcionar por completo [24].

3.11.1. Valoración de Generadores

Los generadores vienen en varios tamaños cada uno de ellos está preestablecido para niveles de salida particulares, los generadores se seleccionan e instalan según los requisitos de energía de cualquier instalación. Un generador típico está configurado idealmente para funcionar al 80% de su capacidad para uso continuo. En una emergencia, se puede utilizar para obtener una eficiencia del 100% [24].

3.11.2. Reducción de Potencia en Generadores

La disminución de potencia de un generador depende del fabricante de la unidad, diferentes fabricantes diseñan generadores utilizando materiales de diferentes fuentes, el desarrollo de diseño no es similares y también lo es la técnica en muchos casos. Todo esto puede contribuir a la eficiencia general del generador. Por lo tanto, la reducción de potencia de un generador depende del proceso de fabricación. Diferentes marcas tienen diferentes factores de reducción para estimar la salida del generador en condiciones ambientales no estándar [24].

Se puede usar una fórmula general para calcular estimaciones cercanas para los niveles de salida. La fórmula de reducción estándar establece que por cada 0.3048 km sobre el nivel del mar, un generador de gasolina, diésel o propano líquido generalmente debería reducirse en un 2-3% de su producción estándar. En el caso de los generadores que utilizan gas natural, el factor de reducción es típicamente más cercano al 5% [24].

3.11.3. Problemas de Combustible

En los generadores si se presentan a bajas temperaturas, junto con niveles de oxígeno inadecuados, que causan problemas en la puesta en marcha, otro problema común que ocurre es la gelificación del combustible diésel. Las bajas temperaturas hacen que el diésel se gelifique, alterando las características de flujo del combustible. Esta gelificación se atribuye al contenido de parafina en el diésel. Algunos tipos de diésel, como el diésel con bajo contenido de azufre, tienen un mayor contenido de parafina que otros [24].

A bajas temperaturas, la parafina cristaliza y obstruye los filtros de combustible. Cuando los filtros de combustible se obstruyen, el combustible adicional no puede ingresar a la cámara de combustión con facilidad y los cambios de relación aire / combustible conducen a una combustión inadecuada [24]. En tales condiciones, el motor del generador puede no arrancar.

3.11.4. Consideraciones de Carga

Como se discutió en las secciones anteriores, se entiende que las condiciones mejoran la salida de potencia del generador debido a la disponibilidad máxima de aire y la calidad de flujo deseada del combustible. Aunque está diseñado para soportar una carga del 100% en condiciones estándar, generalmente se recomienda que los generadores funcionen alrededor del 80% de su capacidad total para un uso máximo y continuo [24].

Los generadores si se presentan tiempos de emergencia, el generador puede ser empujado para entregar el 100% de salida para circuitos críticos, desde el punto de vista del mantenimiento esto no sobrecarga un generador y la vida útil del grupo electrógeno no se ve afectada negativamente [24].

3.12. Factores Ambientales que Afectan la Función del Generador

Las condiciones ambientales de temperatura son extremadamente cruciales para la ignición y el funcionamiento adecuados de un generador, todos los generadores, independientemente del combustible que los alimenta, requieren aire adecuado para la combustión. La disminución de los niveles de aire puede conducir a una falla de arranque. En los motores diésel, el aire y el combustible se infunden juntos. [24].

3.12.1. Altitud

En áreas de gran altitud, la presión del aire cae reduciendo la densidad del aire, generando problemas con el arranque del generador si no se tiene en cuenta, ya que el aire es crucial para la ignición en cualquier tipo de generador y la disponibilidad de aire ambiente para facilitar la disipación de calor del generador en situaciones que se genera mucho calor durante el proceso de combustión y debe ser disipado al medio ambiente para reducir la temperatura del motor [24].

A grandes altitudes debido a la baja densidad del aire la disipación de calor ocurre a una velocidad mucho más lenta que a nivel del mar por lo que resulta en altas temperaturas del motor durante un período prolongado de tiempo, el motor permanece caliente y el sobrecalentamiento es un problema común en tales casos [24].

3.12.2. Temperatura

Las altas temperaturas también están asociadas con una menor densidad del aire y pueden causar problemas de ignición similares debido al suministro de aire inadecuado, ocasionado una sobrecarga al motor que se esfuerza por entregar la potencia para la que está diseñado, en algunos casos el motor se sobrecalienta y a veces se colapsa por completo [24].

3.12.3. Humedad

La humedad es la medida del contenido de agua en un volumen dado de aire. En condiciones de humedad extrema, el vapor de agua en el aire desplaza el oxígeno. Los niveles bajos de oxígeno deterioran la ignición, ya que el oxígeno es el elemento en el aire que se enciende en un motor para quemar combustible [24].

3.13. Interfaz en Matlab

El programa Matlab esta considera un entorno computacional permitiendo el desarrollo de aplicaciones que se encuentran orientados para el diseño o desarrollo de proyectos en donde se consideran los elevados cálculos matemáticos y presentaciones gráficas. El entorno de Matlab se encuentra integrado análisis numéricos, cálculos matriciales, procesos y visualización de gráficos en un entorno que presenta problemas complejos generando soluciones de la forma que se han planteado [25].

El estudio de Matlab en la actualidad presenta una amplia gama de programas de apoyos especializados, conocidos como *Toolboxes*, presentando significativamente un sinfín de numero de funciones incorporadas en el programa principal. *Toolboxes* cubre casi todas las áreas principales en el desarrollo de programación y simulaciones, destacando *toolbox* un procesador de imágenes, señales, control robusto, estadística, análisis matemáticos, redes neuronales, lógica difusa, identificación de sistema, simulación de sistemas dinámicos considerados un entorno de cálculo técnico, presentando en la industria capacidades excepcionales en computación y visualización numérica [25].

3.13.1. Características de Matlab

- Cálculos intensivos desde un punto de vista numérico.
- Gráficos y visualización avanzada.
- Lenguaje de alto nivel basado en vectores, *arrays* y matrices.
- Colección muy útil de funciones de aplicación.

Matlab presenta gran capacidad de cálculo técnico disponible para la ejecución de estudiantes, técnicos, etc. Presentando una amplia gama de matrices con ediciones para estudiantes que mantiene toda la potencia de la versión profesional de Matlab diseñada para la ejecución del programa en ordenadores personales bajo el control de Windows [25].

3.13.2. Toolbox Especiales

En Matlab el entorno de *Toolbox* de señales y sistemas son conjunto de herramientas que procesan señales y analizan un sistema de cuadro, y el *Toolbox Symbolic Math* caracterizado como una herramienta de cálculo simbólico que está basado en Maple V, estas características presentadas para los usuarios de Matlab con despliegue de graficas que pueden ser en 3D, tabla de datos y análisis de funciones [25].

3.14. Método de Programación

3.14.1. Base de Datos

Una base de datos se le conoce como una representación integral de un conjunto estructural de datos, entidades correspondientes a diferentes tipos de entidades del sistema informático y de sus interrelaciones, este tipo de representación informática se puede llegar a utilizar de forma compartida por muchos usuarios de distintos tipos [26].

3.14.2. Redes Neuronales

Las redes neuronales (NN o Neural Networks) fueron creadas para simular los sistemas biológicos, constituidos por neuronas y uniones que interconectan las neuronas. En 1943 fue propuesto el primer modelo neuronal por parte de McCulloch y Pitts. Este modelo fue de neuronas binarias, donde cada neurona podía adaptar dos estados el cual fue la base para desarrollar diferentes modelos posteriores [27].

Estas redes neuronales tratan de imitar al cerebro humano, mismo que se conforma por neuronas que están interconectadas unas con otras las cuales envían impulsos entre si pudiendo activar neuronas adyacentes. Las redes neuronales simulan un sistema de aprendizaje [27].

Se las podría clasificar en dos tipos:

- **Modelos basados en la biología:** conjunto de redes que simulan los sistemas neuronales biológicos y funciones como vista, olfato o audición.
- **Modelos artificiales aplicados:** están diseñados para la resolución de algún problema en concreto los cuales no están necesariamente relacionados con los sistemas biológicos.

- **Redes neuronales artificiales**

Estas suelen estar inspiradas en las redes neuronales biológicas, pero con unas estructuras de conexión y funcionalidades diferentes, podemos decir que las redes neuronales tienen tres características principales [27].

- **Auto-Organización y Adaptabilidad:** utiliza algoritmos de aprendizaje adaptativo y de autoorganización ofreciendo mejores posibilidades de proceso robusto.
- **Procesado no Lineal:** aumenta la capacidad de la red para la clasificación de patrones, la aproximación de funciones, y el aumento de su inmunidad frente al ruido.
- **Proceso Paralelo:** normalmente se usa un gran número de nodos de procesado, con alto nivel de interconectividad.
- **Fase de entrenamiento:** se utilizan datos o patrones de entrenamiento los cuales determinan los pesos (parámetros) los cuales definen el modelo de la red neuronal, mismos que se calculan de manera iterativa de acuerdo a los valores de entrenamiento, se lo hace con el objeto de minimizar el error que se comete entre la salida obtenida por la red neuronal y la salida esperada [27].
- **Fase de prueba:** en la fase pasada, el modelo se puede ajustar demasiado a las particularidades que presentan los patrones de entrenamiento, perdiendo su habilidad de generalizar su aprendizaje a casos nuevos. Lo cual se denomina como sobre ajuste para evitar esto se utiliza un segundo grupo de datos diferentes a los de entrenamiento, el grupo de validación, que permita controlar el proceso de aprendizaje [27].

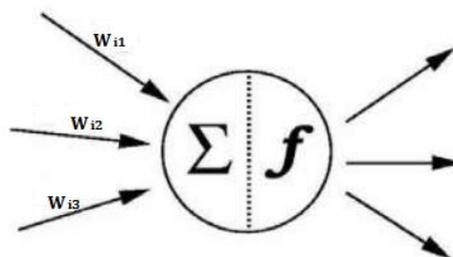


Figura 3.15. Nodo o unidad [27].

Normalmente, los pesos óptimos se obtienen optimizando alguna función de energía. Por ejemplo, minimizar el error cuadrático medio entre el valor de salida y el valor real que se espera [27].

3.14.3.Red Perceptron Multicapa

Es básicamente una red formada por varias capas; misma que actúa como un aproximador universal de funciones mediante el algoritmo de aprendizaje *backpropagation*, el cual obliga a la red neuronal a contener al menos una capa oculta, con suficientes unidades no lineales. Tiene la capacidad de aproximar cualquier tipo de función o relación continua con un grupo de variables de entrada y salida [27].

Razón por la cual a las redes neuronales perceptron multicapa se las considera como una herramienta de pronóstico general no lineal y flexible.

En el año de 1986 Rumelhart et al. Presento un algoritmo de aprendizaje conocido como “Regla Delta Generalizada” por el que las redes perceptron multicapa podían aprender la relación existente entre un conjunto de patrones de entrada y sus salidas [27].

- **Backpopagation Error**

Consiste en dos pasos. En primer lugar, se considera una etapa de funcionamiento en la cual se presenta un patrón de entrada y este es transmitido a través de las sucesivas capas neuronales hasta obtener una salida. Posterior a ello se procede a ejecutar una etapa de entrenamiento o aprendizaje en el cual se modifican los pesos de la red hasta que la salida obtenida por la red con todos los patrones de entrada coincida con la salida deseada por el usuario [27].

3.14.4.Función de Activación

Una red neuronal típica puede caracterizarse por la función de activación. Cada nodo, suministra un valor y_j a su salida. Valor que se propaga a través de la red por medio de conexiones unidireccionales hacia otros nodos de la red [27].

El valor de red, expresado por la función de base $u(w, x)$ se transforma mediante una función de activación no lineal. Las funciones de activación más común son las funciones sigmoideal y gaussiana para ejecutar una programación [27].

Función sigmoideal

$$f(u_i) = \frac{1}{1 + e^{\frac{-u_i}{\sigma^2}}} \quad (3.14)$$

Función gaussiana

$$f(u_i) = ce^{\frac{-u_i^2}{\sigma^2}} \quad (3.15)$$

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. METODOLOGÍA

4.1.1. Método Deductivo

En la aplicación de en cuanto se refiere al método deductivo se va a emplear con la obtención de datos detallados de un generador de combustión interna, para un posterior análisis y comprobar los resultados del equipo, medio por el cual se nos permitirá determinar la eficiencia energética.

4.1.2. Método Analítico

La aplicación de este método dará como resultado la obtención de información referente al grupo electrógeno, mismos que son generados para un análisis de resultados que se obtendrán mediante el desarrollo de una herramienta informática que permitirá verificar la eficiencia energética que presenta el generador.

4.1.3. Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación recoge toda información teórica de diferentes fuentes como libros, tesis, artículos, etc. Con lo cual se puede conocer los estudios y análisis relacionados a la herramienta informática y la eficiencia energética en los generadores de combustión interna.

4.1.4. Investigación de Campo

Al aplicar este tipo de investigación que consiste en la recopilación de información de fuentes externas de un laboratorio o lugar de trabajo, se va a considerar datos relevantes del

generador que se necesitan para realizar la investigación, por este motivo utilizaremos este tipo de investigación para la recolección de datos del generador.

4.1.5. Investigación Tecnológica

Con el uso de esta investigación se planteó el desarrollo de un algoritmo de programación mediante una herramienta informática que permitirá la evaluación de la eficiencia energética en generadores de combustión interna.

4.1.6. Operacionalización de Variables

Se presenta el análisis de las variables que se encuentran categorizadas como dependiente e independiente que se detallan en la Tabla 4.1., y Tabla 4.2., dentro de los parámetros eléctricos que se basan para la obtención de la eficiencia, mediante el análisis de las relaciones entre la energía térmica y las pérdidas de energía en la máquina en los indicadores para evaluar la eficiencia energética que presenta una máquina eléctrica.

Variable independiente: Eficiencia Energética

Tabla 4.1. Características de la variable independiente.

Concepto	Características de la variable	Unidades	Formulas
Eficiencia energética Está relacionado con la cantidad de energía útil que se puede llegar a obtener de una maquina	Energía Térmica	wh	$E_T = \frac{Cant.conbust \cdot 1000}{3.41214183}$
	Pérdidas de la maquina	w	$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_{s,\theta} + P_{r,\theta} + P_{LL}$

Variable dependiente: Calidad de Energía

Tabla 4.2. Características de la variable dependiente.

Concepto	Características de la variable	Unidades	Instrumentos
Calidad de energía: Representa características y condiciones de la generación de energía para el suministro de energía a la red sin generar fallas.	Potencia de generación	wh	$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\theta$
	Eficiencia energética	%	$\eta = \frac{P_s}{P_e + P_p} \cdot 100$ $\eta = \frac{P_g}{P_g + P_p} \cdot 100$

Para un análisis de los índices de eficiencia energética que puede presentar la relación de las potencias, mediante el diseño de una herramienta informática se puede iniciar con una recopilación de información que se realiza con una investigación bibliográfica en libros, tesis, revistas científicas, normativas vigentes, páginas web, etc. Información que es de gran importancia para generar solución al estudio planteado.

Con la información recopilada se realiza una lista detallada de los datos históricos del generador para un análisis, y aplicar en los cálculos de la eficiencia energética que pueden llegar a ser visualizados en una herramienta informática.

En la Figura 4.1., mediante un diagrama de flujo se presenta el proceso que va a llevar a cabo la herramienta informática, en donde se debe tener en cuenta que la creación de datos con la información requerida se considera de gran importancia para la actualización de la base de datos del programa, para aplicar en el entrenamiento de la red neuronal, y llegar a la predicción de la energía generada y la eficiencia energética de la máquina.

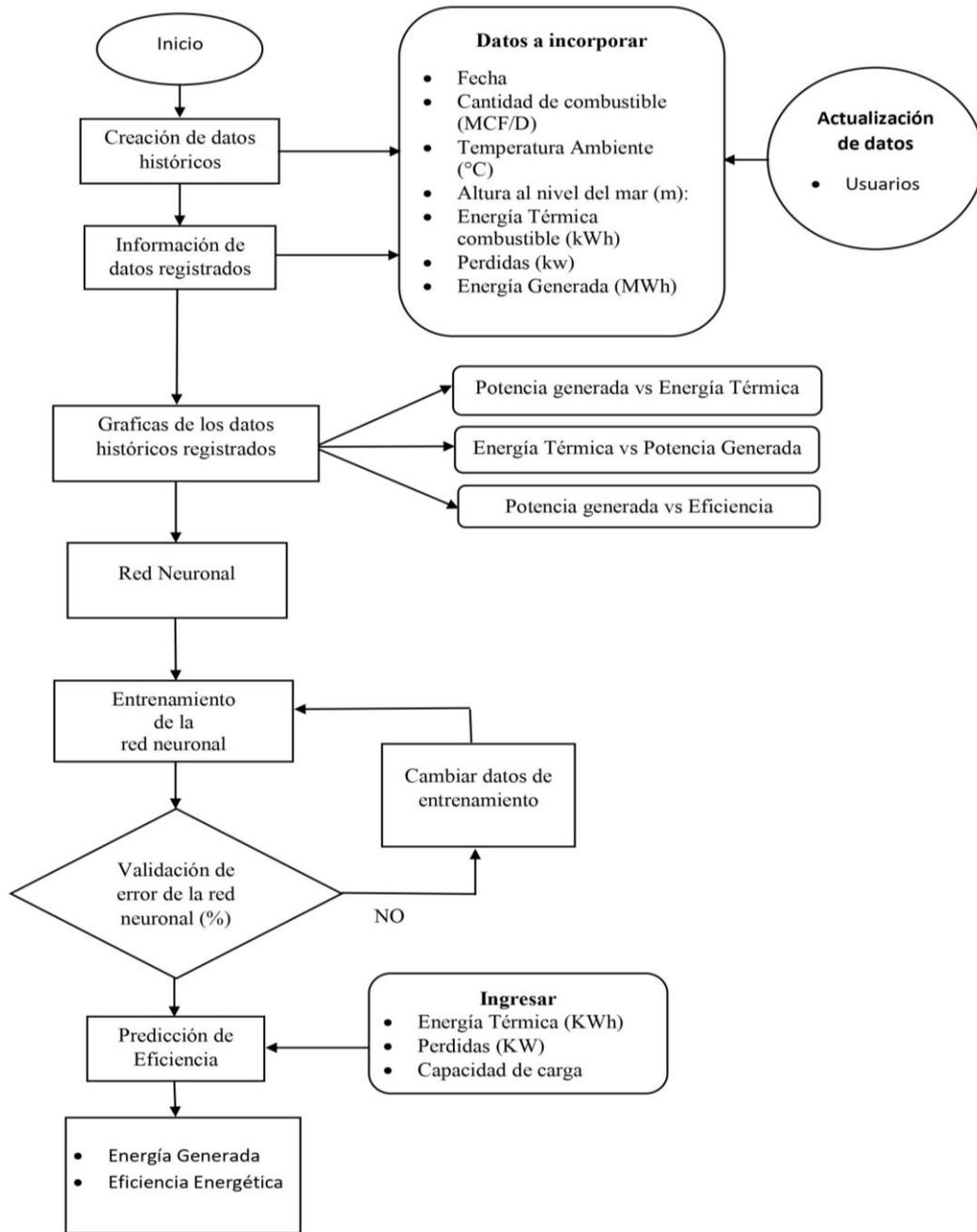


Figura 4.1. Diagrama de Flujo de la herramienta informática.

4.2. Población y Muestra

4.2.1. Tipo de Muestreo

Para este análisis el de registro de los datos históricos de generación del grupo electrógeno será de dos años que se consideran del año 2019 y 2020, teniendo en cuenta los registros de generación que se realizaron en cada día como se muestra en el Anexo A.

En la tabla 4.3. se presenta la información de un motor generador Waukesha L7042GSI que se encuentra ubicado en la empresa Petroecuador, en el cual se puede verificar que es la máquina que se encuentra en mayor tiempo de funcionamiento, se puede verificar los datos de placa específicos en el Anexo B.

Tabla 4.3. Datos informativos de placa del grupo electrógeno.

MOTOR	EQ MOTOR	176498	ALTERNADOR	EQ GENERADOR	
	TAG PAM MOTOR	MCO-0014		TAG PAM GENERADOR	
	CAF MOTOR	139881		CAF GENERADOR	156894
	MARCA	WAUKESH A		MARCA	LEROY SOMER (LS)
	MODELO	L7042GSI		MODELO	LS661-03
	SERIE	C-10787/2		SERIE	CNSLO426 8
	COMBUSTIBLE	NAT GAS		ARREGLO	
	POTENCIA NOMINAL (KW)	1478		POTENCIA NOMINAL (KW)	1000/1350
	VELOCIDAD (RPM)	1200		VOLTAJE NOMINAL(V)	400/480
	ALTURA LIMITE (M)			POTENCIA EFECTIVA (KW)	850

4.2.2. Técnicas e Instrumentos

La recolección de información referente al grupo electrógeno se realizó mediante la recopilación de datos en los registros almacenados de generación que la empresa Petroecuador, misma que esta dispone cada día de funcionamiento de la máquina, la información que se ha recibido de los reportes que el personal técnico realizaba cada día, como se muestra en la Figura 4.2., los reportes presentan información necesaria para el desarrollo de un análisis de los datos referentes a energía y potencias necesaria para el cálculo de la eficiencia energética.

CENTRAL WAUKESHA - SACHA CENTRAL																	
DATOS DE POTENCIA, COMBUSTIBLE & ENERGÍA B60-SACHA CENTRAL																	
UNIDAD	M.CORRECTIVO									RESTRICCIÓN OPERATIVA							
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	TOTAL	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	TOTAL	INICIO
WAU 5	00:00	24:00							24:00							00:00	
WAU 6	08:15	17:00							08:45							00:00	
WAU 7									00:00							00:00	
WAU 8									00:00							00:00	

NOTA (1): Registrar las horas INICIO y FIN según la descripción de las novedades de paro, en las celdas M.CORRECTIVO, RESTRICCIÓN OPERATIVA, M.PREVENTIVO y OPER. Horas DISP. Calcula solo.

HORA	POTENCIA GENERADA [MW] (1)							POTENCIA DISPONIBLE [MW]				
	WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8	TOTAL	ENERGÍA EXPORTADA AL SEIP	AUX. CONSUMO INTERNO	WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8	TOTAL
09:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,177	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
10:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,53	0,175	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
11:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,178	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
12:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,53	0,174	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
13:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,178	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
14:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,184	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
15:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,181	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
16:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,178	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
17:00	M.CORR	M.CORR	0,85	0,85	1,70	1,52	0,183	M.CORR	M.CORR	0,900	0,900	1,80
18:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,27	0,184	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
19:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,27	0,184	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
20:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,27	0,182	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
21:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,27	0,181	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
22:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,27	0,185	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
23:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,26	0,186	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
24:00	M.CORR	0,75	0,85	0,85	2,45	2,26	0,187	M.CORR	0,900	0,900	0,900	2,70
P.DISP/DI	0	13,50	21,60	21,60	563	2,02	0,181	0,90	0,56	0,90	0,90	2,363
P.CONSU	0,000	12,050	20,400	20,400	502							
P.RODAN	0,000	1,450	1,200	1,200	60							
P.FRIO/DI	0,00	0,00	0,00	0,000	0							

PP.DISP/DIA	P.CONSU/DIA	P.RODAN/DIA	P.FRIO/DIA
56.700,0	52,85	3.850	0,00

Figura 4.2. Reporte PG Waukesha Central.

4.2.3. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Se analizan cada uno de los parámetros del registro de producción de energía de los reportes obtenidos y clasificando los parámetros que serán considerados a tomar en cuenta para el diseño de la base de datos de la herramienta informática.

Tabla 4.4. Parámetros de datos a evaluar.

Clasificación Datos			
Nombre	Parámetros		
Fecha	Tipo de combustible	Temperatura Ambiente (°C)	Potencia instalada (kW)
Unidad de generación	Cantidad de combustible (MCF/D)	Altura al nivel del mar (m)	Factor de Potencia (Fp)
			Energía Térmica combustible (kWh)
			Perdidas (kW)
			Energía Generada (MWh)

4.2.4. Registro de Información

- **Unidad de generación:** Especificación técnica del nombre que se encuentra asignado la máquina a ser evaluado.
- **Tipo de combustible:** Registro del tipo del combustible que se encuentra trabajando la máquina.
- **Cantidad de combustible (MCF/D):** La cantidad de combustible que ha ingresado para el trabajo diario de la máquina.
- **Temperatura Ambiente (°C):** Condiciones de temperatura que se encuentra expuesto la máquina.
- **Altura al nivel del mar (m):** Altura especificada que se encuentra la máquina en condiciones de operación.
- **Energía Térmica combustible (kWh):** Registro de la energía térmica que se ha producido en el día con la cantidad de combustible suministrado.
- **Potencia instalada (kW):** Está regido a las especificaciones establecidas por el fabricante
- **Perdidas (kW):** Un registro de las pérdidas totales que es registrado en el día que la máquina se encuentra en funcionamiento.
- **Energía Generada (MWh):** Registro de Energía generada por la máquina considerando la energía térmica de entrada y las pérdidas generadas de la máquina.
- **Factor de Potencia (Fp):** Representa el numero cociente que se relaciona entre la potencia consumida y la potencia generada de la máquina.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó normas técnicas mismas que fueron elaboradas por organismos especializados aplicados a motores de inducción.

4.3. Normas Internacionales aplicadas para determinar la Eficiencia Energética

Los valores de rendimiento suministrados por el fabricante han de ser determinados de acuerdo con las normas internacionales vigentes. Donde se pueden destacar las siguientes normas:

1. IEC 60034-2-1 (Norma Europea).
2. IEEE1122 (Norma Americana).
3. JEC 37 (Norma Japonesa).

La norma IEC60034-2-1, editada en el año 2007, reemplaza a la IEC 60034-2 (1996) la cual fue adoptada como norma UNE. La última edición de la norma europea tiene grandes similitudes con la norma americana, principalmente en la inclusión de nuevos procedimientos para determinación de las pérdidas y la forma de determinación de las pérdidas adicionales en carga, este procedimiento no es contemplado en la edición de 1996.

4.3.1. Norma IEC 60034-2-1

La norma IEC60034-2-1 se utiliza como guía para determinar el rendimiento y las pérdidas en máquinas eléctricas rotativas con excepción de aquellas maquinas destinadas a la tracción de vehículos. El objetivo de esta norma es establecer métodos para determinar el rendimiento y las pérdidas en máquinas de, máquinas síncronas y máquinas de inducción [28].

El surgimiento de esta norma se debe a la necesidad de unificar criterios a la hora de determinar el rendimiento en máquinas, puesto que existen diversas normativas con la que los fabricantes pueden realizar sus ensayos con lo cual se determina el rendimiento de las máquinas. Esta norma viene a sustituir a la IEC 60034-2 (1972) así como su corrección 1 en (1995) y su segunda corrección en (1996). Ha sido elaborada por el comité técnico 2 (TC) del IEC (*International Electrotechnical Commission*) [28].

IEC es la organización líder a nivel mundial en la elaboración y publicación de normativas internacionales en el campo de las tecnologías electrónicas, eléctricas y similares.

4.3.1.1. Situación de la Norma

La IEC 60034-2-1 entra en funcionamiento en septiembre de 2007 substituyendo a la IEC 60034-2 (1996), está a sido ratificada ya como EN 60034-2-1 en el nivel CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica)

La norma IEC 60034-2-1 es de aplicación internacional, cabe recalcar que existen otros estándares para la determinación de la eficiencia, como lo es su similar americana, la norma IEEE 112 y de igual manera la norma IEC 61972. El motivo principal por el que surge esta normativa es la existencia de una gran diferencia en los resultados obtenidos en el rendimiento de las maquinas esto dependiendo de la norma que se esté utilizando, el motivo principal de esta diferencia es a la hora de obtener las pérdidas adicionales, la normativa anterior estimaba las pérdidas adicionales en un 0.5% de la potencia nominal absorbida esta norma introduce tres métodos principales para calcular estas pérdidas [28].

Cada fabricante de motores puede utilizar cualquier método o norma para determinar el rendimiento de los motores, pero en la documentación deberá indicarse el método utilizado.

4.3.2. Norma IEEE 112

Según se establece en la normativa, este estándar proporciona el procedimiento de prueba básico para evaluar el rendimiento de un motor de inducción polifásico o generador de cualquier tamaño. Cada revisión del estándar desde su introducción en 1964 como un estándar IEEE ha sido para mantener el estándar actualizado con mejoras en la instrumentación, con mejoras en las técnicas de prueba, con un mayor conocimiento en el arte de las mediciones, y con el cambio constante en las necesidades y deseos de los usuarios de la máquina y de aquellos interesados en la conservación de energía y similares [29].

El propósito de esta normativa es determinar el rendimiento y las características de los motores y generadores polifásicos de Inducción, se incluyen instrucciones para realizar y notificar los ensayos más generalmente aplicables y aceptables. Es posible que se requieran pruebas adicionales, no especificadas en este documento, para satisfacer necesidades específicas de investigación o aplicación [29].

4.3.2.1. Determinación de la Eficiencia

Según se especifica en la normativa IEEE 112 la eficiencia es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada total. La potencia de salida es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas. Por lo tanto, si se conocen dos de las tres variables (salida, entrada o pérdidas), la eficiencia se puede determinar utilizando la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, La ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** o la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** [29].

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ entrada} \quad (4.1)$$

La forma usada comúnmente para motores es:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ entrada - pérdidas}{Potencia\ de\ entrada} \quad (4.2)$$

La forma usada comúnmente para generadores es:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ salida + pérdidas\ totales} \quad (4.3)$$

4.3.2.2. Métodos de ensayo de Eficiencia

Esta normativa presenta diversos métodos para determinar la eficiencia y las pérdidas, mismos que son identificados a continuación:

- a. Método A: entrada – salida.
- b. Método B: entrada – salida con segregación de pérdidas y medición indirecta de pérdidas de carga perdida.
- c. Método B1: entrada – salida con segregación de pérdidas, medición indirecta de pérdidas de carga perdida y una temperatura asumida.
- d. Método C: máquinas duplicadas con separación de pérdidas y medición indirecta de pérdidas de carga perdida.
- e. Método E: Medición de energía eléctrica bajo carga con segregación de pérdidas y medición directa de pérdidas de carga perdida.
- f. Método E1: Medición de energía eléctrica bajo carga con segregación de pérdidas y valores asumidos de pérdida de carga perdida.
- g. Método F: Circuito equivalente con mediciones directas de pérdida de carga perdida.
- h. Método F1: Circuito equivalente con valor asumido de pérdida de carga perdida.
- i. Método C/F: Circuito equivalente calibrado por punto de carga del método C con medición indirecta de la pérdida de carga perdida.

- j. Método E/F: Circuito equivalente calibrado por punto de carga del método E con medición directa de la pérdida de carga perdida.
- k. Método E1/F1: Circuito equivalente calibrado por punto de carga del método E con valor supuesto de pérdida de carga perdida

4.3.2.3. Método B de ensayo de Eficiencia entrada-salida con segregación de Pérdidas.

La normativa ofrece una guía para la selección del método para la determinación de la eficiencia, por el tipo de máquina que se está analizando tomamos en cuenta para su análisis el método B en el cual especifica que la pérdida total aparente (entrada menos salida) se segrega en sus diferentes componentes con pérdidas de carga definida como la diferencia entre la pérdida total aparente y la suma de las pérdidas convencionales (pérdida de estator y rotor i^2r , pérdida de núcleo y pérdida de fricción y viento). Los datos de pérdida de carga perdida suavizados se utilizan para calcular el valor final de la pérdida total y la eficiencia [29].

4.3.2.4. Cálculos establecidos dentro del Método B

a. Pérdidas en el Estator

$$P_s = 1.5 \cdot I^2 \cdot R \quad (4.4)$$

Donde: P_s son las pérdidas en el estator, I^2 es la corriente de línea en amperios y R es la resistencia.

b. Pérdidas en el Rotor

$$P_r = P_a \cdot S \quad (4.5)$$

Donde: P_r son las pérdidas en el rotor, P_a es la potencia a través de la brecha de aire y S es el deslizamiento.

Para obtener el valor de P_a la normativa establece la siguiente ecuación:

$$P_a = P_{st} + P_h + P_s \quad (4.6)$$

Donde: P_a es la potencia a través de la brecha de aire, P_{st} es la potencia en el estator, P_h son las pérdidas presentes en el hierro P_s son las pérdidas en el estator.

En la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tiene la intervención del desplazamiento, mismo que puede obtenerse con la ecuación que se muestra.

$$S = \frac{n_i}{n_s} \quad (4.7)$$

Donde: S es el desplazamiento, n_i es la velocidad en r.p.m y n_s es la velocidad de desplazamiento.

c. Pérdidas Asumidas (P_{LL})

Tabla 4.5. Valores asumidos para la pérdida de carga perdida [29].

Rango de la maquina (kW)	Porcentaje de pérdida de carga perdida de la carga nominal
1-90	1,8 %
91-375	1,5 %
376-1850	1,2 %
1851 y mayores	0,9 %

d. Pérdidas Totales

Estas pérdidas se dan por la suma de las pérdidas calculadas con las fórmulas anteriores teniendo en cuenta que las pérdidas por fricción y pérdidas por el viento están inmersas en las pérdidas del rotor por lo cual ya fueron consideradas en este punto.

$$P_T = P_s + P_r + P_{LL} \quad (4.8)$$

Para el cálculo de la eficiencia teniendo en cuenta la norma IEEE 112 y en este caso particular para el generador analizado tenemos la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

4.4. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

4.4.1. Elección del Lenguaje de Programación

El lenguaje de programación mediante redes neuronales aplicado en el entorno de Matlab brinda combinaciones que se encuentran en el escritorio que esta perfeccionado para llegar a un análisis y procesos de diseño mediante lenguajes de programación que se llega a expresar con modelos matemáticos.

En el entorno de programación de Matlab se encuentran estructuras que dan acceso a propiedades específicas de la red neuronal independiente del tipo que sea necesario, con la ejecución de esta función se puede modificar las entradas, capas, conexiones, pesos, etc. Que aplican en la programación a emplear, con las debidas ejecuciones que se emplean en este entorno se llega a las funciones de manipulación de las redes neuronales en Matlab que son simulaciones, entrenamiento, inicialización, etc. Que aplican en la programación a emplear, con las debidas ejecuciones que se emplean en este entorno se llega a las funciones de manipulación de las redes neuronales en Matlab que son simulaciones, entrenamiento, inicialización, etc. Para un parámetro de estructura que son aplicados en la red neuronal [25].

Aplicando el comando `Net=network;` se encuentran los contenidos para la estructura de una red neuronal mismas que están divididas en cinco secciones.

- **Arquitectura:** Se encuentran características básicas de la red neuronal, donde se presenta el número de entradas, capas conexiones de vías, etc.
- **Subobjetos:** En esta sección se encuentra las referencias de subestructuras de la red neuronal que ayuda a la configuración de propiedades de los componentes que conforman una red neuronal.
- **Funciones:** Presenta las principales funciones de la red neuronal, que se emplea para iniciar las operaciones, entrenamiento o simulaciones correspondientes.
- **Parámetros:** Son los parámetros que están asociados a funciones en el punto de bloques de funciones requeridas.
- **Valores:** Son las matrices con valores de pesos de entrada, las conexiones entre capas y vías necesarias.

Con la creación de las redes neuronales se presenta una ventaja que ayuda a separar las regiones no lineales de decisiones que llegan a ser complicadas dependiendo del número de

neuronas y capas que se están aplicando en la programación, presentando una gran ayuda para la solución de problemas que son de gran complejidad [25].

Datos														
Fecha	CantidadD...	CantidaCo...	Temperatu...	AlturaNive...	PotenciaN...	VoltajeKv	EnergiaTer...	PerdidasTo...	EnergiaGe...	FactorDeP...	Eficiencia	VarName13	VarName14	VarName15
Datetime	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Text	Text	Number
113	01-ene-2020	247.6500	240.4369	25	250	850	480	7.0465e+04	5.0265	20.2000	0.9400	80.0745		
114	02-ene-2020	252.6800	245.3204	25	250	850	480	7.1896e+04	5.1286	20.6100	0.9400	80.0742		
115	03-ene-2020	250.2300	242.9417	25	250	850	480	7.1199e+04	5.0789	20.4100	0.9400	80.0740		
116	04-ene-2020	142.2200	138.0777	25	250	850	480	4.0467e+04	2.8867	11.6000	0.9400	80.0737		
117	05-ene-2020	250.8400	243.5340	25	250	850	480	7.1373e+04	5.0913	20.4600	0.9400	80.0743		
118	06-ene-2020	248.8800	241.6311	25	250	850	480	7.0815e+04	5.0515	20.3000	0.9400	80.0741		
119	07-ene-2020	248.7600	241.5146	25	250	850	480	7.0781e+04	5.0491	20.2900	0.9400	80.0739		
120	08-ene-2020	228.2800	221.6311	25	250	850	480	6.4954e+04	4.6334	18.6200	0.9400	80.0744		
121	09-ene-2020	248.5100	241.2718	25	250	850	480	7.0710e+04	5.0440	20.2700	0.9400	80.0743		
122	10-ene-2020	249.3700	242.1068	25	250	850	480	7.0954e+04	5.0614	20.3400	0.9400	80.0742		
123	11-ene-2020	243.1200	236.0388	25	250	850	480	6.9176e+04	4.9346	19.8300	0.9400	80.0739		
124	12-ene-2020	249.8600	242.5825	25	250	850	480	7.1094e+04	5.0714	20.3800	0.9400	80.0742		
125	13-ene-2020	247.5300	240.3204	25	250	850	480	7.0431e+04	5.0241	20.1900	0.9400	80.0743		
126	14-ene-2020	251.2100	243.8932	25	250	850	480	7.1478e+04	5.0988	20.4900	0.9400	80.0741		
127	15-ene-2020	248.6300	241.3883	25	250	850	480	7.0744e+04	5.0464	20.2800	0.9400	80.0746		
128	16-ene-2020	250.5900	243.2913	25	250	850	480	7.1302e+04	5.0862	20.4400	0.9400	80.0747		
129	17-ene-2020	251.4500	244.1262	25	250	850	480	7.1546e+04	5.1036	20.5100	0.9400	80.0745		
130	18-ene-2020	251.9400	244.6019	25	250	850	480	7.1686e+04	5.1136	20.5500	0.9400	80.0746		
131	19-ene-2020	251.8200	244.4854	25	250	850	480	7.1652e+04	5.1112	20.5400	0.9400	80.0744		
132	20-ene-2020	217.1200	210.7961	25	250	850	480	6.1778e+04	4.4068	17.7100	0.9400	80.0748		
133	21-ene-2020	249.1200	241.8641	25	250	850	480	7.0883e+04	5.0583	20.3000	0.9400	80.0526		
134	22-ene-2020	249.7400	242.4660	25	250	850	480	7.1060e+04	5.0690	20.3700	0.9400	80.0740		
135	23-ene-2020	250.2300	242.9417	25	250	850	480	7.1199e+04	5.0789	20.4100	0.9400	80.0740		
136	24-ene-2020	250.8400	243.5340	25	250	850	480	7.1373e+04	5.0913	20.4600	0.9400	80.0743		
137	25-ene-2020	248.6300	241.3883	25	250	850	480	7.0744e+04	5.0464	20.2800	0.9400	80.0746		
138	26-ene-2020	248.0200	240.7961	25	250	850	480	7.0570e+04	5.0340	20.2300	0.9400	80.0743		

Figura 4.3. Base de datos de la herramienta informática.

4.4.2. Recolección de Datos

Los datos utilizados fueron obtenidos por parte de Petroamazonas, los cuales consisten en las mediciones de combustible consumido, energía generada del grupo electrógeno Waukesha Central, datos que son generados a cada hora para el uso de estos datos, se los tabulo diariamente. Las mediciones que presenta la base de datos correspondes a los últimos 2 años presentados en forma diaria correspondiendo desde enero del 2019 hasta diciembre del 2020.

4.4.3. Diseño de Modelo de Red Neuronal

Para la construcción del modelo de la red neuronal, se toma en cuenta criterios como:

4.4.3.1. Selección de la Variable

Se determina que la variable de entrada en este caso es el consumo de combustible de la máquina, con lo cual se diseña una red neuronal univariante.

4.4.4. Conjunto de Entrenamiento y Prueba

- **Conjunto de Entrenamiento**

Conjunto de datos que ayuda a la red neuronal a aprender los patrones que presentan los datos analizados (calcular la obtención de los pesos de la red) y le enseña a la red como sobrellevar las diferentes características, ajustando los coeficientes de acuerdo con la probabilidad de que los errores sean mínimos en los resultados. Para la herramienta informática se toma aproximadamente el 70% del total de los datos a ser incluidos en el conjunto de entrenamiento.

- **Conjunto de Prueba**

Son los datos restantes del conjunto de entrenamiento. Este conjunto de datos es utilizado para evaluar la precisión de la red.

El conjunto de entrenamiento y de prueba fue mediante la selección aleatoria de una muestra de 70 % y de 30 %, pues dentro del machine *learning* se toma en cuenta la regla general de la división 2/3 para el training y 1/3 para el test, esto es debido a que si se introduce toda la cantidad de información con la que se cuenta, no habría manera de evaluar el error que está cometiendo el modelo, pues no tendrían datos fiables contra los que contrastar, de esa forma se evita contar con un modelo sobre ajustado [30].

4.4.5. Selección de la Arquitectura de la Red Neuronal

Para el desarrollo de la herramienta informática se desarrolla la red neuronal de predicción, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos se utilizan las redes con algoritmo de entrenamiento *Back propagation*.

- **Número de neuronas de entrada**

Estas corresponden a las mediciones registradas en la base de datos en el intervalo de 2 años de forma diaria, en este caso la cantidad de neuronas son 10, misma que se especifica en la simulación de la herramienta informática.

- **Número de capas ocultas**

Las capas ocultas dan a la red la habilidad de generalizar, y en la práctica las redes neuronales con una o dos capas ocultas son las más utilizadas y han tenido un buen desempeño. Para la red neuronal utilizada en la herramienta informática se seleccionan dos capas ocultas.

- **Número de neuronas de salida**

El número de neuronas de la capa de salida de la red será una, porque solo se intenta predecir el valor de la variable potencia consumida.

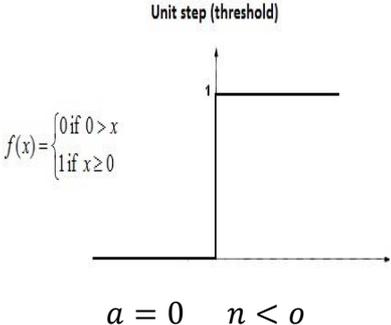
- **Función de transferencia**

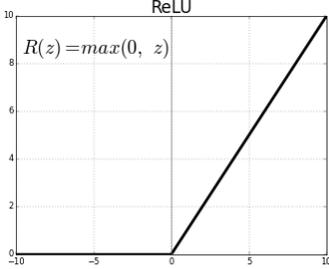
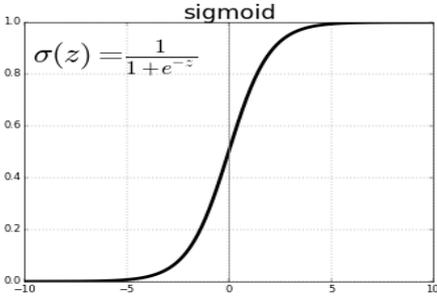
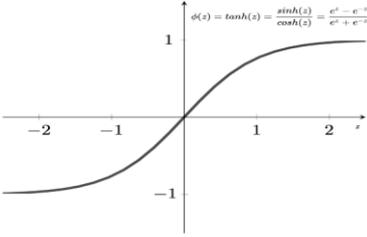
Dicha función busca prevenir a las salidas de alcanzar valores muy elevados, mismos que podrían paralizar la red y detener el entrenamiento de la misma. Para este trabajo se utilizan como función de transferencia la función sigmoïdal y la función tangente hiperbólica.

- **Análisis de posibles funciones de activación para procesar**

La elección de la función de activación en las neuronas de la capa oculta y de la capa de salida dependerá del tipo de tarea que se le ha asignado.

Tabla 4.6. Comparación de funciones de activación

Función escalón	Función rectificadora
<p>El estudio de la función escalón o conocido como umbral se aplica únicamente cuando las salidas de la red son binarias.</p> <p>Esta función esta especificada para el uso en el perceptrón simple que son aplicados debido a que las salidas como una representación de funciones booleanas.</p> <div style="text-align: center;">  $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 > x \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases}$ </div>	<p>La función de rectificador más conocido como ReLU, basados en investigaciones empíricas y presentan un rango de respuesta más útil.</p> <p>En electrónica se le aplica como una función rampa y es análoga en rectificador de media onda.</p> <p>Este tipo de función de activación presenta un problema cuando las variables de entrada se acercan a cero o son negativos es gradiente se vuelve cero y la red no puede realizar una propagación hacia atrás.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No es continua

<p style="text-align: center;">$a = 1 \quad n \geq 0$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La mitad del rango, el gradiente es cero <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">$R(z) = \max(0, z)$</p> </div>
<p>Función de sigmoideal</p> <p>En esta función se presentan valores de salida comprendidos entre el rango de 0 y 1, por lo que al modificar un valor se ve afectada la pendiente de la función de activación.</p> <p>Por lo que la capacidad de respuesta de la función sigmoide decae relativamente en ambos extremos.</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">$a = \frac{1}{1 + e^n}$</p> </div>	<p>Función tangente hiperbólica</p> <p>En la función tangente hiperbólica los valores de salida se encuentran comprendidos dentro de un rango que va de -1 a 1, en comparación con la función sigmoide al modificar un valor afecta a la pendiente de activación.</p> <p>La ventaja de aplicar esta función de activación es que se puede manejar más fácil los números que se encuentran comprometidos al valor negativo</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$</p> </div>

De esta manera se debe considerar que para una tarea que requiere clasificación se toman funciones de activación sigmoideal en redes neuronales, y para la ejecución en tareas de predicción o aproximaciones de una función se aplican generalmente la función de activación lineal.

La aplicación de la función sigmoidal, la tangente hiperbólica o cualquier otro tipo de funciones similares se consideran que en las derivadas van a ser positivas o cercanas a cero para que valores grandes sean positivos o negativos, tomando un valor máximo si $x=0$.

4.4.6. Diseño del Modelo Matemático de la Red Neuronal

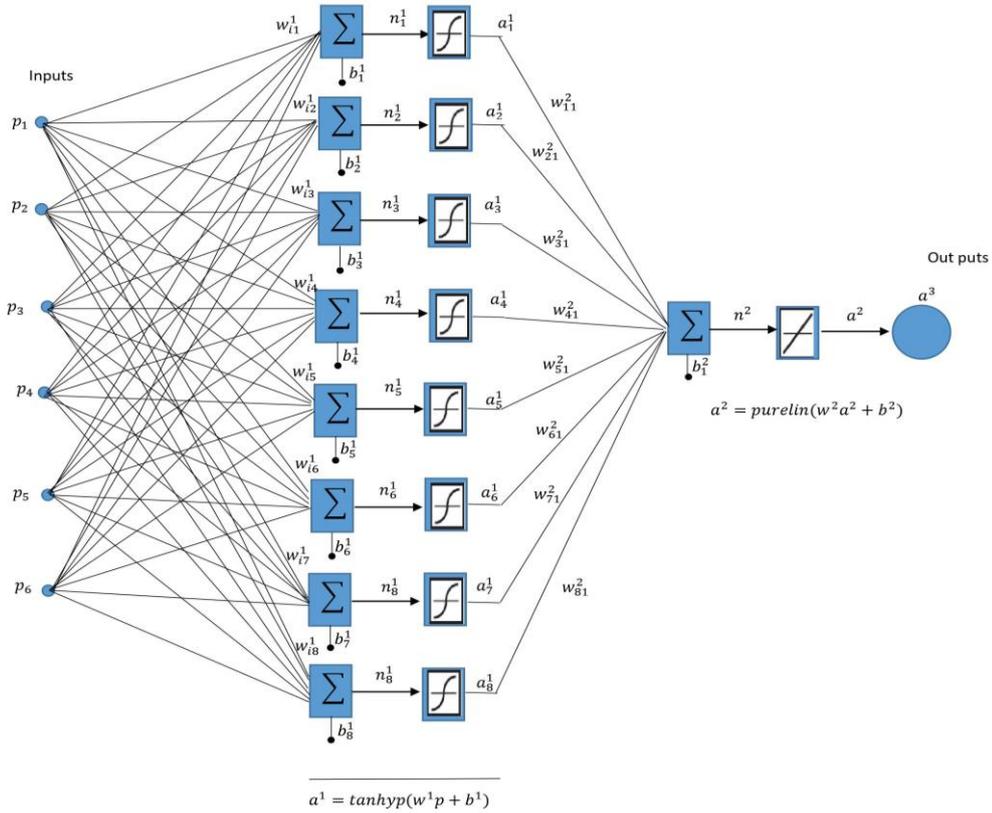


Figura 4.4. Modelo de la red neuronal

Aplicando matrices en la capa oculta

Pesos

$$\begin{bmatrix} w_{11}^1 & w_{12}^1 & w_{13}^1 & w_{14}^1 & w_{15}^1 & w_{16}^1 \\ w_{21}^1 & w_{22}^1 & w_{23}^1 & w_{24}^1 & w_{25}^1 & w_{26}^1 \\ w_{31}^1 & w_{32}^1 & w_{33}^1 & w_{34}^1 & w_{35}^1 & w_{36}^1 \\ w_{41}^1 & w_{42}^1 & w_{43}^1 & w_{44}^1 & w_{45}^1 & w_{46}^1 \\ w_{51}^1 & w_{52}^1 & w_{53}^1 & w_{54}^1 & w_{55}^1 & w_{56}^1 \\ w_{61}^1 & w_{62}^1 & w_{63}^1 & w_{64}^1 & w_{65}^1 & w_{66}^1 \\ w_{71}^1 & w_{72}^1 & w_{73}^1 & w_{74}^1 & w_{75}^1 & w_{76}^1 \\ w_{81}^1 & w_{82}^1 & w_{83}^1 & w_{84}^1 & w_{85}^1 & w_{86}^1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1^1 \\ b_2^1 \\ b_3^1 \\ b_4^1 \\ b_5^1 \\ b_6^1 \\ b_7^1 \\ b_8^1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Donde:

w_{11}^1 representa el peso, p_1 representa la entrada 1, y b_1^1 es el bias de la capa 1.

$$n_i = (W * P^T) + b \quad (4. 10)$$

$$\begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \\ n_3^1 \\ n_4^1 \\ n_5^1 \\ n_6^1 \\ n_7^1 \\ n_8^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11}^1 p_1 + b_1^1 & w_{12}^1 p_1 + b_1^1 & w_{13}^1 p_1 + b_1^1 & w_{14}^1 p_1 + b_1^1 & w_{15}^1 p_1 + b_1^1 & w_{16}^1 p_1 + b_1^1 \\ w_{21}^1 p_2 + b_2^1 & w_{22}^1 p_2 + b_2^1 & w_{23}^1 p_2 + b_2^1 & w_{24}^1 p_2 + b_2^1 & w_{25}^1 p_2 + b_2^1 & w_{26}^1 p_2 + b_2^1 \\ w_{31}^1 p_3 + b_3^1 & w_{32}^1 p_3 + b_3^1 & w_{33}^1 p_3 + b_3^1 & w_{34}^1 p_3 + b_3^1 & w_{35}^1 p_3 + b_3^1 & w_{36}^1 p_3 + b_3^1 \\ w_{41}^1 p_4 + b_4^1 & w_{42}^1 p_4 + b_4^1 & w_{43}^1 p_4 + b_4^1 & w_{44}^1 p_4 + b_4^1 & w_{45}^1 p_4 + b_4^1 & w_{46}^1 p_4 + b_4^1 \\ w_{51}^1 p_5 + b_5^1 & w_{52}^1 p_5 + b_5^1 & w_{53}^1 p_5 + b_5^1 & w_{54}^1 p_5 + b_5^1 & w_{55}^1 p_5 + b_5^1 & w_{56}^1 p_5 + b_5^1 \\ w_{61}^1 p_6 + b_6^1 & w_{62}^1 p_6 + b_6^1 & w_{63}^1 p_6 + b_6^1 & w_{64}^1 p_6 + b_6^1 & w_{65}^1 p_6 + b_6^1 & w_{66}^1 p_6 + b_6^1 \\ w_{71}^1 p_7 + b_7^1 & w_{72}^1 p_7 + b_7^1 & w_{73}^1 p_7 + b_7^1 & w_{74}^1 p_7 + b_7^1 & w_{75}^1 p_7 + b_7^1 & w_{76}^1 p_7 + b_7^1 \\ w_{81}^1 p_8 + b_8^1 & w_{82}^1 p_8 + b_8^1 & w_{83}^1 p_8 + b_8^1 & w_{84}^1 p_8 + b_8^1 & w_{85}^1 p_8 + b_8^1 & w_{86}^1 p_8 + b_8^1 \end{bmatrix} \quad (4. 11)$$

Donde:

n_{11}^1 es el resultado de la neurona 1, W representa el peso de neurona, p_1 es la variable de entrada de la matriz transpuesta, y b_1^1 es el bias de la capa 1.

Resultado de la salida de la capa oculta

$$\begin{bmatrix} a_1^1 \\ a_2^1 \\ a_3^1 \\ a_4^1 \\ a_5^1 \\ a_6^1 \\ a_7^1 \\ a_8^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f' n_1^1 \\ f' n_2^1 \\ f' n_3^1 \\ f' n_4^1 \\ f' n_5^1 \\ f' n_6^1 \\ f' n_7^1 \\ f' n_8^1 \end{bmatrix} \quad (4. 12)$$

Donde;

a_1^1 representa el valor de salida de la capa oculta, f' es la función de activación y n_1^1 es el resultado de la neurona.

Donde la función de activación de la capa f'

$$f' = \frac{d}{dn} \left(\frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \right) \quad (4. 13)$$

Al derivar la función de activación tendremos como resultado la ecuación (4. 14)

$$a = f' = (1 - (a_1^1)^2) \quad (4. 14)$$

La capa de salida 2

Matriz de pesos de la capa de salida

$$[w_{11}^2 + w_{21}^2 + w_{31}^2 + w_{41}^2 + w_{51}^2 + w_{61}^2 + w_{71}^2 + w_{81}^2] \quad (4.15)$$

Donde:

w_{11}^2 el peso de la capa de salida.

Resultado de la capa de salida

$$n^2 = [a_1^1 w_{11}^2 + a_2^1 w_{21}^2 + a_2^1 w_{31}^2 + a_4^1 w_{41}^2 + a_5^1 w_{51}^2 + a_6^1 w_{61}^2 + a_7^1 w_{71}^2 + a_8^1 w_{81}^2] \quad (4.16)$$

$$a^2 = f^2(n^2 + b_1^2) \quad (4.17)$$

La función de activación de la capa de salida es lineal aplicando la derivada

$$f^2(n) = \frac{d}{dn} = 1 \quad (4.18)$$

Donde:

$f^2(n)$ es la función de activación de la capa 2, $\frac{d}{dn}$ es la función de activación lineal.

Algoritmo Back Propagation

Para minimizar el error

$$e = (y_d - y_o) \quad (4.19)$$

Donde:

y_o es el error deseado, y_o representa el error obtenido

Aplicando el método del descenso por gradiente para hallar los pesos sinápticos y las polarizaciones que minimizan el error cuadrático.

Cálculo de la sensibilidad para la capa de salida

$$s^M = -2 \cdot f'^2 \cdot (n^m)(y_d - y_o) \quad (4.20)$$

$$s^M = -2 \cdot 1 \cdot (n^2)(y_d - y_o) \quad (4.21)$$

Donde:

s^M representa la sensibilidad de la capa de salida, n^2 es el resultado de la neurona de la capa de salida, y_o es el error deseado, y_d representa el error obtenido.

Con la tasa de aprendizaje $\alpha = 0.1$

Cálculo de nuevos valores para los pesos de la capa de salida

$$w_{(ij+1)}^n = w_{ij}^n - \alpha \cdot s^M \cdot a_j^i \quad (4.22)$$

$$w_{(11+1)}^2 = w_{11}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_1^1 \quad (4.23)$$

$$w_{(21+1)}^2 = w_{21}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_2^1 \quad (4.24)$$

$$w_{(31+1)}^2 = w_{31}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_3^1 \quad (4.25)$$

$$w_{(41+1)}^2 = w_{41}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_4^1 \quad (4.26)$$

$$w_{(51+1)}^2 = w_{51}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_5^1 \quad (4.27)$$

$$w_{(61+1)}^2 = w_{61}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_6^1 \quad (4.28)$$

$$w_{(71+1)}^2 = w_{71}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_7^1 \quad (4.29)$$

$$w_{(81+1)}^2 = w_{81}^2 - \alpha \cdot s^M \cdot a_8^1 \quad (4.30)$$

Donde:

$w_{(ij+1)}^n$ representa el nuevo valor del peso, w_{ij}^n es el peso actual, α es la tasa de aprendizaje, s^M es la sensibilidad de la capa de salida, a_j^i es el valor de salida de la capa oculta.

Para el umbral de salida

$$b_{(i+1)}^n = b_i^n - \alpha \cdot s^M \cdot 1 \quad (4.31)$$

$$b_{(1+1)}^2 = b_1^2 - \alpha \cdot s^M \cdot 1 \quad (4.32)$$

Donde:

$b_{(i+1)}^n$ es el nuevo valor del umbral, b_i^n es el umbral actual, α es la tasa de aprendizaje, s^M es la sensibilidad de la capa de salida.

Para la capa oculta

Ecuación de sensibilidad en la capa oculta

$$s^m = f' n^m \cdot (w_{ij}^n)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.33)$$

$$s^m = (1 - (a_1^1)^2) \cdot a_1^1 \cdot (w_{ij}^n)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.34)$$

Donde:

s^m representa la sensibilidad de la capa oculta, a_1^1 es el valor de salida de la capa oculta, $(w_{ij}^n)^T$ es el valor del peso actual, s^{m+1} , es la sensibilidad de la capa de salida.

La sensibilidad de cada uno de las neuronas de la capa oculta

$$s_1^m = (1 - (a_1^1)^2) \cdot (w_{11}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.35)$$

$$s_2^m = (1 - (a_2^1)^2) \cdot (w_{21}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.36)$$

$$s_3^m = (1 - (a_3^1)^2) \cdot (w_{31}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.37)$$

$$s_4^m = (1 - (a_4^1)^2) \cdot (w_{41}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.38)$$

$$s_5^m = (1 - (a_5^1)^2) \cdot (w_{51}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.39)$$

$$s_6^m = (1 - (a_6^1)^2) \cdot (w_{61}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.40)$$

$$s_7^m = (1 - (a_7^1)^2) \cdot (w_{71}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.41)$$

$$s_8^m = (1 - (a_8^1)^2) \cdot (w_{81}^2)^T \cdot s^{m+1} \quad (4.42)$$

Cálculo de los nuevos pesos para la capa oculta

$$w_{(ij+1)}^n = w_{ij}^n - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.43)$$

$$w_{(11+1)}^1 = w_{11}^1 - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.44)$$

$$w_{(21+1)}^1 = w_{21}^1 - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.45)$$

$$w_{(31+1)}^1 = w_{31}^1 - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.46)$$

$$w_{(41+1)}^1 = w_{41}^1 - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.47)$$

$$w_{(51+1)}^1 = w_{51}^1 - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.48)$$

$$w_{(61+1)}^1 = w_{61}^1 - \alpha \cdot s^M \cdot (a_i^{n+1})^T \quad (4.49)$$

Donde:

$w_{(ij+1)}^n$ representa el nuevo valor del peso de la capa oculta, w_{ij}^n es el peso actual de la capa oculta, α es la tasa de aprendizaje, s^M es la sensibilidad de la capa de salida, $(a_i^{n+1})^T$ es el valor de salida de la capa oculta transpuesta.

Una vez planteado las ecuaciones se procede a aplicar para el entrenamiento de la red neuronal en el software Matlab.

El diseño de la red neuronal consiste de una alimentación hacia adelante de dos capas con neuronas sigmoides tangente hiperbólica ocultas y neuronas de salida lineal (*fitnet*), puede adaptarse a problemas de mapeo multidimensional arbitrariamente bien, dados datos consistentes y suficientes neuronas en su capa oculta. La red se entrenará con el algoritmo de retropropagación de *Levenberg-Marquardt (trainlm)*, a menos que no haya suficiente memoria, en cuyo caso se utilizará la retropropagación de gradiente conjugado escalado (*trainlm*).

4.4.7. Interfaz Gráfica de la Herramienta Informática

La interfaz cuenta con una pantalla principal que se muestra en la Figura 4.5., en la cual se presenta el acceso al sistema para los diferentes tipos de usuarios que desean la interacción con la herramienta informática.



Figura 4.5. Interfaz gráfica del sistema.

En la pantalla principal de la herramienta informática se puede acceder al menú principal en donde se presentan los accesos correspondientes a los datos históricos, la red neuronal y la predicción además de los botones regresar y salir como se presenta en la Figura 4.6., se dará a conocer las características de las opciones antes mencionadas.



Figura 4.6. Menú Principal de la herramienta informática.

- a) Datos históricos: En este campo los operadores pueden ingresar y verificar los datos históricos que se han registrado en la base de datos, permitiendo la verificación de las gráficas de comparación correspondientes de la energía térmica, la potencia generada y la eficiencia de la máquina, de acuerdo a sus parámetros registrados como se muestra en la Figura 4.7.
- b) Red Neuronal: Permite visualizar el entrenamiento que se empleara en las redes neuronales correspondiente a los datos que se tiene registrado, como se puede apreciar en la Figura 4.8.
- c) Predicción: En este punto se encuentra las debidas predicciones de cálculo de la potencia generada y la eficiencia de la máquina permitiendo realizar predicciones de los siguientes años para la generación de potencia como esta en la Figura 4.9 **Figura 4.9.**

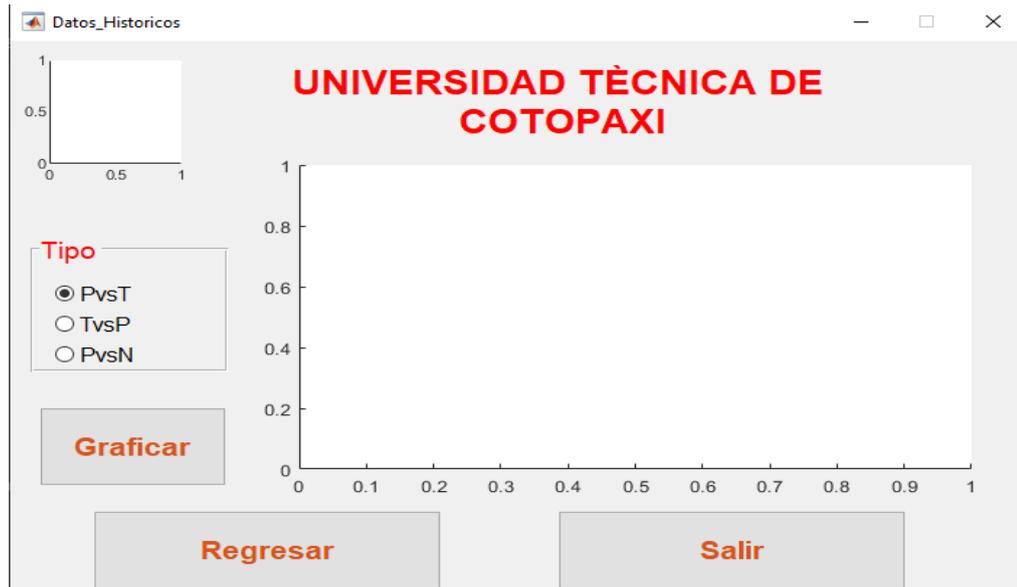


Figura 4.7. Opción de la base de datos de la herramienta informática.

Como se aprecia en la Figura 4.7., se observan los puntos para la gráfica de potencia vs Energía térmica, Energía térmica vs Potencia y la eficiencia de la máquina vs la potencia generada.

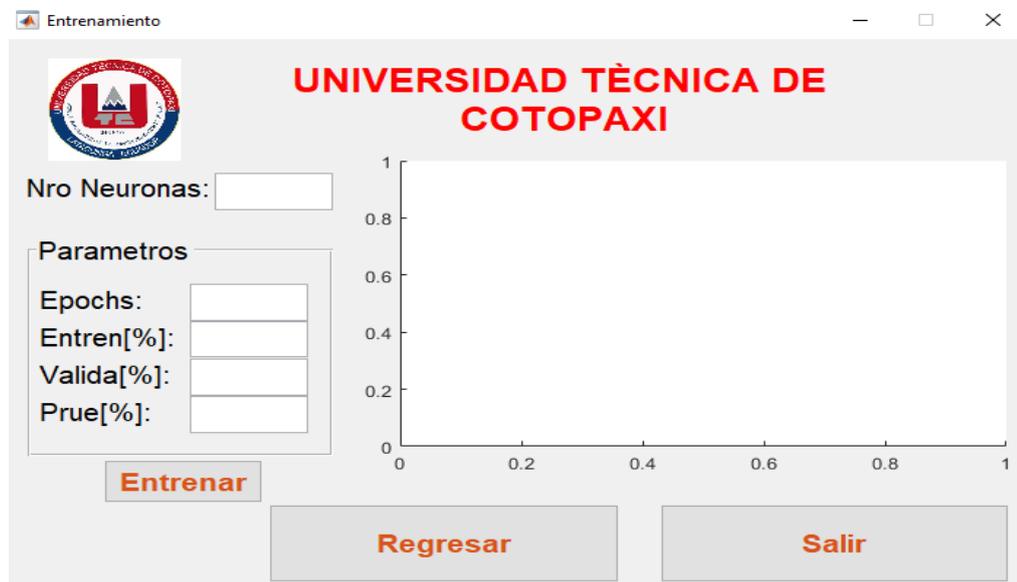


Figura 4.8. Opción de la red neuronal.

En representación de la Figura 4.8., se dan a conocer los parámetros a ingresar en la opción de entrenamiento para la red neuronal.

- a. Nro. neuronas: Para aplicar el entrenamiento de la red se debe conocer el número de neuronas a considerar para el entrenamiento de la red.

b. Epochs: En este punto se debe ingresar el número de iteraciones que se van a emplear para encontrar el valor óptimo de la red neuronal, se pueden ocupar 100 iteraciones hasta que la red neuronal se acople a los datos ingresados.

c. Entren (%): Con los datos que se incorporaron se debe considerar el porcentaje de datos que se debe ingresar para el entrenamiento de la red neuronal, se puede considerar en un valor entre 70 y 80 por ciento de datos tomados aleatoriamente mismos que se encuentran especificados para entrenar a la red.

d. Valida (%): Para llegar a validar el camino que va a seguir para el entrenamiento de la red se debe considerar el 15 por ciento de los datos registrados que el programa se encarga de tomar aleatoriamente.

e. Prue (%): Para llegar a verificar el entrenamiento que se ha empleado en la red neuronal se va a considerar el otro 15 por ciento de los datos.

Figura 4.9. Opción de Predicción.

En la Figura 4.9., se puede observar los índices de los parámetros a ingresar, para la obtención de la energía generada y posterior cálculo de la eficiencia.

4.4.8. Reporte del Entrenamiento de la Red Neuronal

En la Figura 4.10., se muestra el entrenamiento que se ha empleado a la red neuronal con el ingreso de la base de datos.

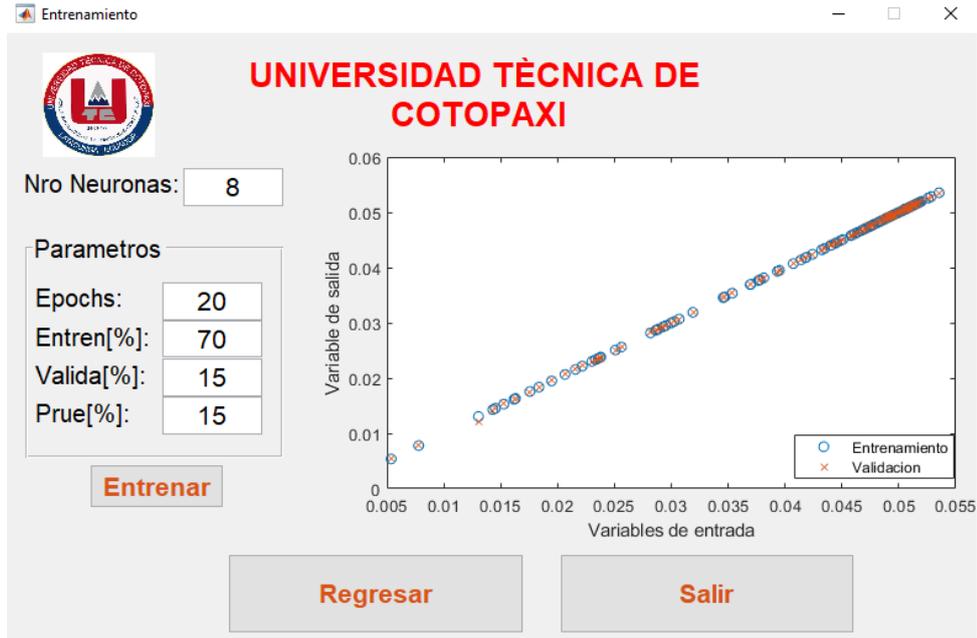


Figura 4.10. Entrenamiento red neuronal.

En la Figura 4.11., se puede observar el entrenamiento que se empleó a la red neuronal con el 70 % de los datos que se ha ingresado para entrenar a la red y con el 15 % que se ocupa para la validación de los datos ingresados, y en la gráfica se puede verificar los debidos errores que se presentan por los datos a típicos que se registran en la base de datos presentando un error que puede estar en un $\pm 3\%$.

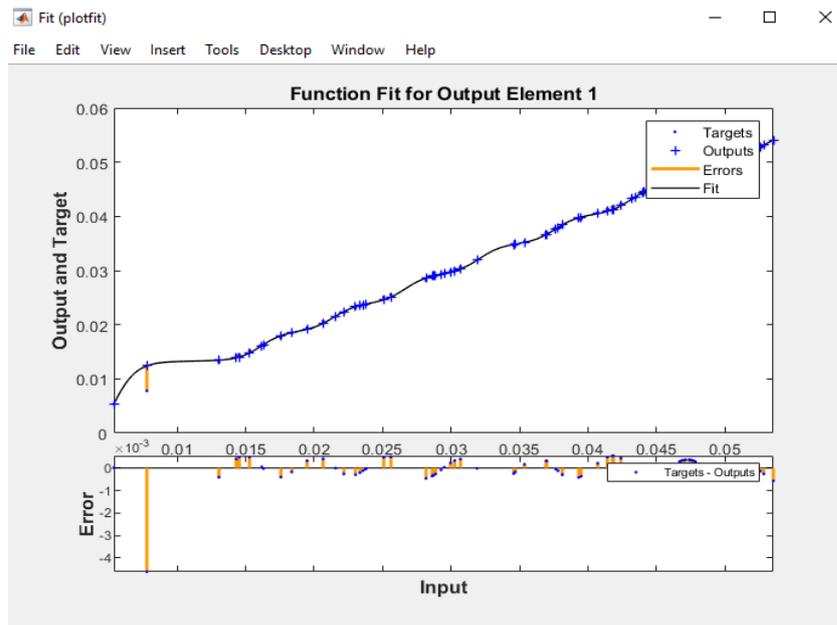


Figura 4.11. Entrenamiento y porcentaje de error.

En la gráfica en el punto de error se registra el porcentaje de error considerado en el entrenamiento de la red los datos registrados se encuentran en el límite establecido del ± 3 por ciento, de la misma manera se registra un error que está en un 5 por ciento que se consideran debido a las fallas de emergencia en la máquina, a los cambios de combustible, mantenimientos establecidos de la máquina, etc.

En la Figura 4.12., se observa la red neuronal que se estableció con los datos incorporados a la herramienta informática con las variables de entrada establecidas, la capa oculta de la red neuronal, los pesos establecidos de cada red neuronal, el compensador automático del programa y la variable de salida.

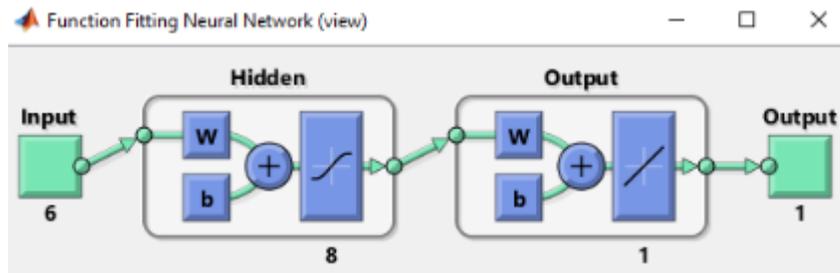


Figura 4.12. Red Neuronal.

4.4.9. Reportes de los índices de Eficiencia Energética

En la Figura 4.13., se puede apreciar los resultados de los cálculos para la obtención de potencia generada y eficiencia energética mismos que se obtienen considerando los parámetros presentados, la cantidad de combustible que la máquina requiere para la obtención de energía térmica, el voltaje nominal, la altura, la temperatura ambiente, la potencia nominal, parámetros que por considerar el medio en el que está funcionando la máquina están ya establecidos con el ingreso de la energía térmica obtenida de la base de datos se puede observar los resultados correspondientes de la energía generada y posterior cálculo de la eficiencia.

Prediccion

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

INGRESAR DATOS

Voltaje Temperatura Amb

Potencia N Altura Nivel Mar

Energia Termica: Perd. estator Perd. Rotor Perd. Adicionales Capacidad Carga

Calcular

Energia generada: **Graficar**

Eficiencia:

Regresar **Salir**

Figura 4.13. Predicción de Eficiencia.

En la gráfica mostrada en la Figura 4.13., se puede verificar la predicción que se va a especificar de la energía generada en los siguientes años considerando la energía térmica que se proyecta para el ingreso a la máquina permitiendo la obtención de la eficiencia a la que va a estar trabajando la máquina. Si se presenta un punto en donde los resultados presentados generan un pequeño error en la proyección de generación de energía de la máquina, estos resultados se pueden ocasionar debido a que en un mes establecido la máquina puede salir fuera de servicio debido a un mantenimiento establecido.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR GENERADOR WAUKESHA L7042GSI USANDO MATLAB

Con el desarrollo del análisis de eficiencia se tomaron datos históricos de generación de energía eléctrica de un motor generador Waukesha L7042GSI que se encuentra ubicado en la empresa Petroecuador, para la evaluación de la eficiencia se utilizaron fórmulas de potencia, eficiencia, establecidas en la normativa IEEE 112.

En la Tabla 5.1., se presenta el ingreso de los datos para obtener el resultado de los índices de eficiencia de acuerdo a la energía que se ha generado en el mes de enero con el grupo electrógeno Waukesha L7042GSI.

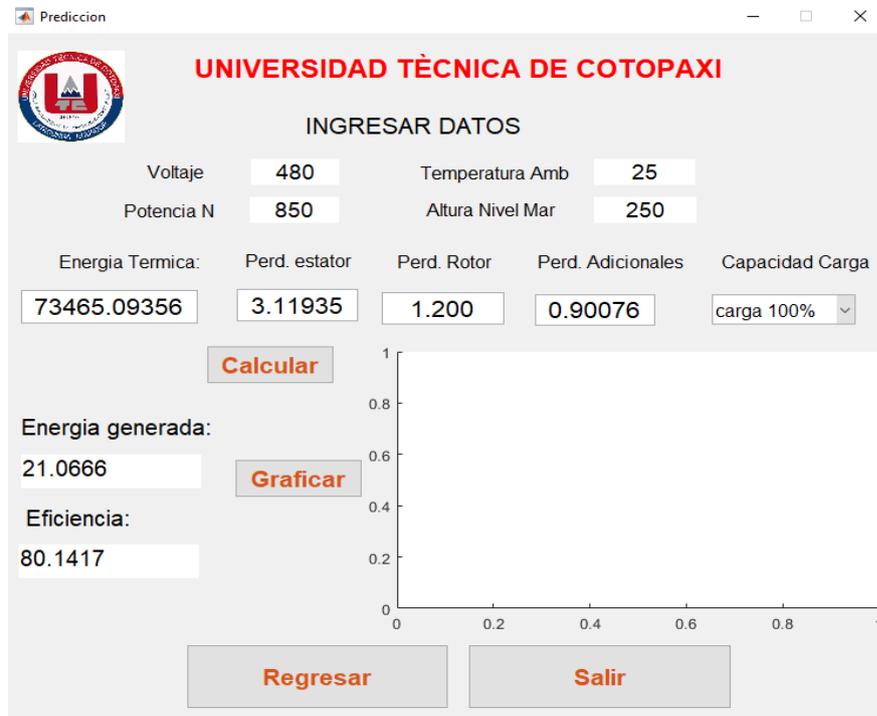


Tabla 5.1. Reporte de energía y eficiencia de la máquina.

Con la implementación del cálculo en la herramienta informática se puede establecer la eficiencia que ha presentado cada día del mes de enero el grupo electrógeno y en la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**, se expresa los resultados generados por la herramienta informática de acuerdo a la generación del mes de enero.

Tabla 5.2. Resultado de eficiencia en la herramienta informática a una carga del 100%.

Resultado de la Eficiencia Energética del grupo electrógeno Waukesha L7042 Eficiencia Mes de enero 2020						Eficiencia Con una Carga
Fecha	Cantidad de combustible (MCF/D)	Cantidad combustible a temp-Amb-Alt	Energía Térmica Combustible (kWh)	Pérdidas Totales (kW)	Energía Generada (MWh)	100 %
1/1/2020	247.65	240.4368932	70465.09353	5.026509353	20.2	80.1148
2/1/2020	252.68	245.3203883	71896.3046	5.12863046	20.61	80.0375
3/1/2020	250.23	242.9417476	71199.19384	5.078919384	20.41	80.0697
4/1/2020	142.22	138.0776699	40466.56815	2.886656815	11.6	80.2184
5/1/2020	250.84	243.5339806	71372.76019	5.091276019	20.46	80.0598
6/1/2020	248.88	241.631068	70815.07159	5.051507159	20.3	80.0935
7/1/2020	248.76	241.5145631	70780.92739	5.049092739	20.29	80.0956
8/1/2020	228.28	221.631068	64953.65052	4.633365052	18.62	80.0153
9/1/2020	248.51	241.2718447	70709.79364	5.043979364	20.27	80.1006
10/1/2020	249.37	242.1067961	70954.49374	5.061449374	20.34	80.0848
11/1/2020	243.12	236.038835	69176.14997	4.934614997	19.83	80.1442
12/1/2020	249.86	242.5825243	71093.91589	5.071391589	20.38	80.0761
13/1/2020	247.53	240.3203883	70430.94933	5.024094933	20.19	80.1167
14/1/2020	251.21	243.8932039	71478.03815	5.098803815	20.49	80.0542
15/1/2020	248.63	241.3883495	70743.93784	5.046393784	20.28	80.0981
16/1/2020	250.59	243.2912621	71301.62644	5.086162644	20.44	80.0639
17/1/2020	251.45	244.1262136	71546.32655	5.103632655	20.51	80.051
18/1/2020	251.94	244.6019417	71685.7487	5.11357487	20.55	80.0449
19/1/2020	251.82	244.4854369	71651.6045	5.11116045	20.54	80.0462
20/1/2020	217.12	210.7961165	61778.23989	4.406823989	17.71	80.2246
21/1/2020	249.12	241.8640777	70883.35999	5.058335999	20.3	80.083
22/1/2020	249.74	242.4660194	71059.77169	5.068977169	20.37	80.0781
23/1/2020	250.23	242.9417476	71199.19384	5.078919384	20.41	80.0697
24/1/2020	250.84	243.5339806	71372.76019	5.091276019	20.46	80.0598
25/1/2020	248.63	241.3883495	70743.93784	5.046393784	20.28	80.0981
26/1/2020	248.02	240.7961165	70570.37149	5.034037149	20.23	80.1086
27/1/2020	252.92	245.5533981	71964.593	5.1334593	20.63	80.0358
28/1/2020	250.23	242.9417476	71199.19384	5.078919384	20.41	80.0697
29/1/2020	249.98	242.6990291	71128.06009	5.073806009	20.39	80.0741
30/1/2020	250.59	243.2912621	71301.62644	5.086162644	20.44	80.0639
31/1/2020	249.37	242.1067961	70954.49374	5.061449374	20.34	80.0848

La evaluación aplicada mediante las fórmulas establecidas en la norma IEEE std 112, el grupo electrógeno evaluado se encuentra operando a una capacidad de carga nominal del 100% de su capacidad, con estas condiciones el grupo electrógeno está establecido que se ocasiona un porcentaje del 20 % de pérdidas que son generadas debido a pérdidas de la máquina y por calor generando que la máquina se encuentre operando con una eficiencia del 80 %.

Como se mencionó anteriormente se puede ejecutar el cálculo para la predicción de producción de energía y la eficiencia energética que va a tener el grupo electrógeno en los siguientes años considerando el ingreso de energía térmica y las pérdidas acorde a la capacidad de carga que el grupo electrógeno se encuentra operando

Los resultados de predicción pueden presentar un error considerando que en algún punto el grupo electrógeno puede entrar en mantenimiento o presentar inconvenientes.

En el anexo K se puede observar los datos de predicación generados por la herramienta informática para los índices de eficiencia energética que opera el equipo electrógeno en los siguientes meses considerando la energía térmica que se tiene proporcionado por la cantidad de combustible.

5.2. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR GENERADOR WAUKESHA L7042GSI USANDO MICROSOFT EXCEL

En este punto se analizará los resultados de eficiencia dando énfasis a los datos empleados en el programa.

Para la validación de resultados que se han obtenido en el programa Matlab se utiliza el programa Microsoft Excel para el cual se va ejecutar para una evaluación de la eficiencia energética.

Microsoft Excel

La información que se va a necesitar para la evaluación de la eficiencia energética se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**, en donde están registrados datos mensuales.

Datos del grupo electrógeno Waukesha L7042												
Fecha	Unidad de generacion	Tipo de combustible	Cantidad de combustible (MCF/D)	Cantida combustible a temp-Amb_Alt	Temperatura Ambiente (°C)	Altura nivel del mar (m)	Potencia Nominal (Kw)	Voltaje (Kv)	Energia termica combustibil e (kWh)	Perdidas Totales(Kw)	Energia generada (MWh)	Factor de Potencia (Fp)
1/1/2020	WAU 8	NAT GAS	247.65	240.4368932	25	250	850	480	70465.0935	5.02650935	20.2	0.94
2/1/2020	WAU 8	NAT GAS	252.68	245.3203883	25	250	850	480	71896.3046	5.12863046	20.61	0.94
3/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.1938	5.07891938	20.41	0.94
4/1/2020	WAU 8	NAT GAS	142.22	138.0776699	25	250	850	480	40466.5682	2.88665682	11.6	0.94
5/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.7602	5.09127602	20.46	0.94
6/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.0716	5.05150716	20.3	0.94
7/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.9274	5.04909274	20.29	0.94
8/1/2020	WAU 8	NAT GAS	228.28	221.631068	25	250	850	480	64953.6505	4.6336505	18.62	0.94
9/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.51	241.2718447	25	250	850	480	70709.7936	5.04397936	20.27	0.94
10/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.4937	5.06144937	20.34	0.94
11/1/2020	WAU 8	NAT GAS	243.12	236.028835	25	250	850	480	69176.15	4.934615	19.83	0.94
12/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.9159	5.07139159	20.38	0.94
13/1/2020	WAU 8	NAT GAS	247.53	240.3203883	25	250	850	480	70430.9493	5.02409493	20.19	0.94
14/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.0381	5.09880381	20.49	0.94
15/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.63	241.3883495	25	250	850	480	70743.9378	5.04639378	20.28	0.94
16/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.6264	5.08616264	20.44	0.94
17/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.45	244.1262136	25	250	850	480	71546.3265	5.10363265	20.51	0.94
18/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.94	244.6019417	25	250	850	480	71685.7487	5.11357487	20.55	0.94
19/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.82	244.4854369	25	250	850	480	71651.6045	5.11116045	20.54	0.94
20/1/2020	WAU 8	NAT GAS	217.12	210.7961165	25	250	850	480	61778.2399	4.40682399	17.71	0.94
21/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.12	241.8640777	25	250	850	480	70883.36	5.058336	20.3	0.94
22/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.7717	5.06897717	20.37	0.94
23/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.1938	5.07891938	20.41	0.94
24/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.7602	5.09127602	20.46	0.94
25/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.63	241.3883495	25	250	850	480	70743.9378	5.04639378	20.28	0.94
26/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.3715	5.03403715	20.23	0.94
27/1/2020	WAU 8	NAT GAS	252.92	245.5533981	25	250	850	480	71964.593	5.1334593	20.63	0.94
28/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.1938	5.07891938	20.41	0.94
29/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.0601	5.07380601	20.39	0.94
30/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.6264	5.08616264	20.44	0.94
31/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.4937	5.06144937	20.34	0.94

Figura 5.1. Historial de datos del motor Waukesha I702.

Con los datos históricos registrados en Microsoft Excel del mes de enero del 2020, considerando que las pérdidas que tiene el sistema fueron proporcionadas en los datos históricos se procede al cálculo de la eficiencia energética diaria del grupo electrógeno Waukesha.

Considerando el ingreso de datos para el cálculo de la eficiencia energética que presenta el grupo electrógeno en los debidos meses se va a aplicar la fórmula de la eficiencia que se encuentra especificado en la norma IEEE 112.

En la Tabla 5.3., se presenta los resultados obtenidos en Microsoft Excel con el cual posteriormente se procederá realizar un análisis en comparación con los resultados que se obtuvieron de la herramienta informática.

Tabla 5.3. Reporte de eficiencia energética a una carga del 100% en Microsoft Excel.

Resultado de la Eficiencia Energética del grupo electrógeno Waukesha L7042							Eficiencia Con una Carga
Fecha	Unidad de generación	Cantidad de combustible (MCF/D)	Cantidad combustible a temp-Amb_Alt	Energía térmica combustible (kWh)	Pérdidas Totales (kW)	Energía generada (MWh)	100%
1/1/2020	WAU 8	247.65	240.4368932	70465.0935	5.02650935	20.2	80.0744951
2/1/2020	WAU 8	252.68	245.3203883	71896.3046	5.12863046	20.61	80.0741906
3/1/2020	WAU 8	250.23	242.9417476	71199.1938	5.07891938	20.41	80.0740106
4/1/2020	WAU 8	142.22	138.0776699	40466.5682	2.88665682	11.6	80.0736854
5/1/2020	WAU 8	250.84	243.5339806	71372.7602	5.09127602	20.46	80.0742788
6/1/2020	WAU 8	248.88	241.631068	70815.0716	5.05150716	20.3	80.0741347
7/1/2020	WAU 8	248.76	241.5145631	70780.9274	5.04909274	20.29	80.0739009
8/1/2020	WAU 8	228.28	221.631068	64953.6505	4.63336505	18.62	80.0744321
9/1/2020	WAU 8	248.51	241.2718447	70709.7936	5.04397936	20.27	80.0743325
10/1/2020	WAU 8	249.37	242.1067961	70954.4937	5.06144937	20.34	80.074171
11/1/2020	WAU 8	243.12	236.038835	69176.15	4.934615	19.83	80.0739281
12/1/2020	WAU 8	249.86	242.5825243	71093.9159	5.07139159	20.38	80.0742071
13/1/2020	WAU 8	247.53	240.3203883	70430.9493	5.02409493	20.19	80.0742603
14/1/2020	WAU 8	251.21	243.8932039	71478.0381	5.09880381	20.49	80.074083
15/1/2020	WAU 8	248.63	241.3883495	70743.9378	5.04639378	20.28	80.0745664
16/1/2020	WAU 8	250.59	243.2912621	71301.6264	5.08616264	20.44	80.0747072
17/1/2020	WAU 8	251.45	244.1262136	71546.3265	5.10363265	20.51	80.0745458
18/1/2020	WAU 8	251.94	244.6019417	71685.7487	5.11357487	20.55	80.0745808
19/1/2020	WAU 8	251.82	244.4854369	71651.6045	5.11116045	20.54	80.07435
20/1/2020	WAU 8	217.12	210.7961165	61778.2399	4.40682399	17.71	80.0747884
21/1/2020	WAU 8	249.12	241.8640777	70883.36	5.058336	20.3	80.0525713
22/1/2020	WAU 8	249.74	242.4660194	71059.7717	5.06897717	20.37	80.0739741
23/1/2020	WAU 8	250.23	242.9417476	71199.1938	5.07891938	20.41	80.0740106
24/1/2020	WAU 8	250.84	243.5339806	71372.7602	5.09127602	20.46	80.0742788
25/1/2020	WAU 8	248.63	241.3883495	70743.9378	5.04639378	20.28	80.0745664
26/1/2020	WAU 8	248.02	240.7961165	70570.3715	5.03403715	20.23	80.0742964
27/1/2020	WAU 8	252.92	245.5533981	71964.593	5.1334593	20.63	80.0746505
28/1/2020	WAU 8	250.23	242.9417476	71199.1938	5.07891938	20.41	80.0740106
29/1/2020	WAU 8	249.98	242.6990291	71128.0601	5.07380601	20.39	80.0744397
30/1/2020	WAU 8	250.59	243.2912621	71301.6264	5.08616264	20.44	80.0747072
31/1/2020	WAU 8	249.37	242.1067961	70954.4937	5.06144937	20.34	80.074171

De la misma manera como se expresa en la Figura 5.2., se puede verificar la eficiencia que tiene el grupo electrógeno en todo el mes de enero considerando que el grupo electrógeno se encuentra operando al 100% de su carga nominal, con los cálculos que se han empleado se

verifica el estado de funcionamiento del grupo electrógeno se encuentra a una eficiencia del 80% de la capacidad.

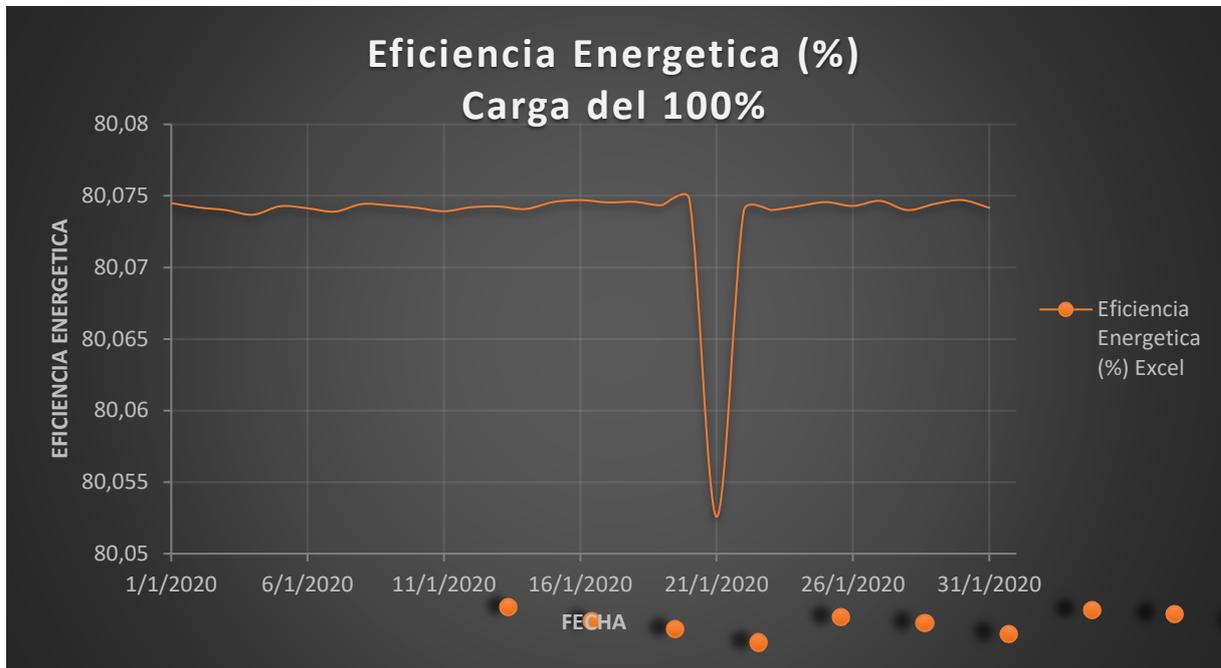


Figura 5.2. Eficiencia energética en Microsoft Excel

5.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de la eficiencia energética se considera como un índice para verificar el estado en la que se encuentra trabajando una máquina para garantizar la eficiencia a lo largo de su generación de energía eléctrica.

Haciendo un análisis de los datos históricos que se presentan de un grupo electrógeno específico, se pudo determinar la eficiencia energética mediante el desarrollo de la herramienta informática en el software Matlab. Para validar el resultado obtenido se utilizó el programa Microsoft Excel para su comparación.

En la Tabla 5.4., se presenta la comparación de los resultados obtenidos en la herramienta informática en Matlab como en Microsoft Excel, en consideración de los datos históricos empleados.

Tabla 5.4. Resultados obtenidos en Matlab y Microsoft Excel con una carga del 100%

Resultado de la Eficiencia Energética Waukesha L7042							
Datos						Software Matlab	Microsoft Excel
Fecha	Unidad de Generación	Tipo de combustible	Cantidad de Combustible (MCF/D)	Energía Térmica combustible (kWh)	Energía Generada (MWh)	Eficiencia Energética (%)	Eficiencia Energética (%)
1/1/2020	WAU 8	NAT GAS	247.65	72579.0463	20.2	80.1148	80.07449512
2/1/2020	WAU 8	NAT GAS	252.68	74053.1937	20.61	80.0375	80.07419055
3/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.23	73335.1697	20.41	80.0697	80.07401056
4/1/2020	WAU 8	NAT GAS	142.22	41680.5652	11.6	80.2184	80.07368538
5/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.84	73513.943	20.46	80.0598	80.07427881
6/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.88	72939.5237	20.3	80.0935	80.07413474
7/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.76	72904.3552	20.29	80.0956	80.07390087
8/1/2020	WAU 8	NAT GAS	228.28	66902.26	18.62	80.0153	80.07443206
9/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.51	72831.0874	20.27	80.1006	80.07433248
10/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.37	73083.1286	20.34	80.0848	80.07417097
11/1/2020	WAU 8	NAT GAS	243.12	71251.4345	19.83	80.1442	80.07392807
12/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.86	73226.7334	20.38	80.0761	80.07420706
13/1/2020	WAU 8	NAT GAS	247.53	72543.8778	20.19	80.1167	80.07426026
14/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.21	73622.3793	20.49	80.0542	80.07408298
15/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.63	72866.256	20.28	80.0981	80.07456637
16/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.59	73440.6752	20.44	80.0639	80.07470721
17/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.45	73692.7163	20.51	80.051	80.07454576
18/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.94	73836.3212	20.55	80.0449	80.07458082
19/1/2020	WAU 8	NAT GAS	251.82	73801.1526	20.54	80.0462	80.07435001
20/1/2020	WAU 8	NAT GAS	217.12	63631.5871	17.71	80.2246	80.07478836
21/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.12	73009.8608	20.3	80.083	80.05257128
22/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.74	73191.5648	20.37	80.0781	80.07397414
23/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.23	73335.1697	20.41	80.0697	80.07401056
24/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.84	73513.943	20.46	80.0598	80.07427881
25/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.63	72866.256	20.28	80.0981	80.07456637
26/1/2020	WAU 8	NAT GAS	248.02	72687.4826	20.23	80.1086	80.07429644
27/1/2020	WAU 8	NAT GAS	252.92	74123.5308	20.63	80.0358	80.07465053
28/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.23	73335.1697	20.41	80.0697	80.07401056
29/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.98	73261.9019	20.39	80.0741	80.07443975
30/1/2020	WAU 8	NAT GAS	250.59	73440.6752	20.44	80.0639	80.07470721
31/1/2020	WAU 8	NAT GAS	249.37	73083.1286	20.34	80.0848	80.07417097

Analizando los resultados obtenidos en la herramienta informática desarrolla en Matlab como en Microsoft Excel, se emplea un análisis de los resultados obtenidos de la eficiencia energética en la herramienta informática presentan una variación del 3% considerando a los resultados obtenidos en Microsoft Excel, este porcentaje de variación se da debido al

entrenamiento empleado a la red neuronal, el programa va presentando resultados más exactos en consideración de la base de datos históricos que se encuentran registrados en la programación.

Como se ha indicado en la evaluación de eficiencia energética se debe considerar que la eficiencia energética de una máquina se encuentra particularmente en un 80% de la energía que recibe, debido a que el 20% de la energía son considerados las pérdidas en forma de calor.

En la gráfica de la Figura 5.3., se puede verificar con mayor exactitud la comparación de resultados obtenidos en la herramienta informática como en Microsoft Excel correspondiente a los cálculos de la eficiencia energética presentando que la eficiencia a la que se encuentra trabajando el grupo electrógeno van a estar de acuerdo a los porcentajes establecidos.

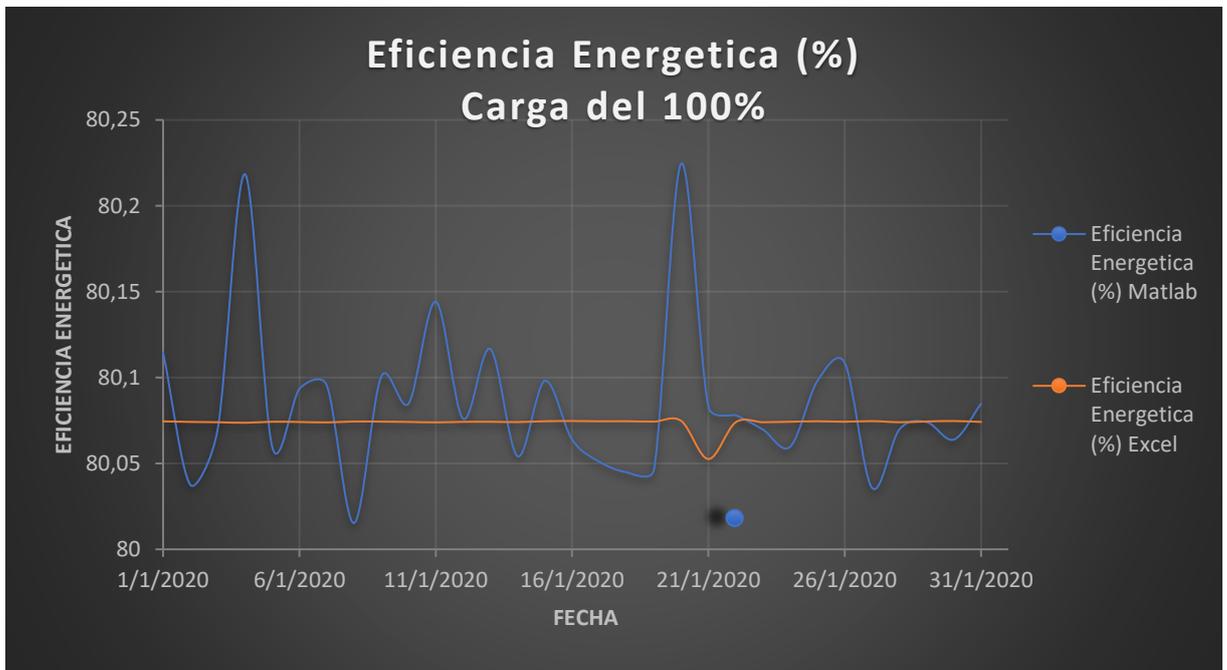


Figura 5.3. Gráfica de la eficiencia calculada por la herramienta informática y la calculada en Microsoft Excel

En la curva que se refleja de la eficiencia como se ha especificado anteriormente va presentando una variación que es ocasionado debido al entrenamiento del programa, en el programa se toma datos entrenados que se buscan establecer un valor más exacto acorde a la base de datos.

Se debe tener en cuenta que la eficiencia energética llega a aumentar abruptamente cuando se incrementa la carga hasta el punto de estabilizar dentro de un intervalo de potencia, esto se

pueden apreciar en las presentaciones de las curvas de eficiencia energética que presentan los grupos de generadores.

Por lo general debido a estos factores se busca llegar a un diseño óptimo del generador que alcance una eficiencia pico a plena carga.

5.4. CALCULO MANUAL DE EFICIENCIA DEL GENERADOR

En la Tabla 5.5., se muestra los registros del generador del mes de enero del 2020 para el cálculo manual de la eficiencia del generador para posteriormente ser comparado con los resultados obtenidos por la herramienta informática y por parte del software Excel.

Tabla 5.5. Datos generadores (enero 2020).

Datos Generador (Enero 2020)																	
	Potencia (kW)	Potencia Reactiva	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Frecuencia (Hz)	F.P	Temperatura Ambiente	m.s.n.m	r.p.m	Carga Mecánica	Numero de	Resistencia	Potencia generada	Perdidas estator	Velocidad sincrona	Desplazamiento	Perdidas Totales
1/1/2020	853,6	305,6	486,8	1074	60,004	0,94	24,5	280	1199,6	81,8	4	0,0694	20.2	120076,852	1200	0,99966667	5,28287706
2/1/2020	855,333	307,333	789,833	1071,67	60,01	0,94	24,5	280	1199,67	81,833	4	0,0694	20.61	119555,52	1200	0,999725	5,06386379
3/1/2020	855,333	308,333	488,5	1066,66	60	0,94	24,5	280	1200	82,166	4	0,0694	20.41	118441,186	1200	1	3,69765869
4/1/2020	849,333	303	489,666	1066,67	59,98	0,94	24,5	280	1200	81	4	0,0694	11.6	118442,519	1200	1	3,45634657
5/1/2020	847,833	302,333	486,666	1066,67	59,991	0,94	24,5	280	1200	81,1666	4	0,0694	20.46	118442,519	1200	1	5,05150716
6/1/2020	848	306,666	488	1056	59,988	0,94	24,5	280	1199,83	81	4	0,0694	20.3	116085,658	1200	0,99985833	5,0888616
7/1/2020	853,5	311	490	1063,33	60,01	0,94	24,5	280	1199,67	81,666	4	0,0694	20.29	117703,483	1200	0,999725	5,06897717
8/1/2020	853,666	310	490,166	1065	59,988	0,94	24,5	280	1200,17	81	4	0,0694	18.62	118072,823	1200	1,00014167	5,07622043
9/1/2020	839	306,833	487,5	1060	60,008	0,94	24,5	280	1199,83	81,5	4	0,0694	20.27	116966,76	1200	0,99985833	5,07622043
10/1/2020	852,833	309,333	489	1063,33	60,008	0,94	24,5	280	1199,83	81,5	4	0,0694	20.34	117703,483	1200	0,99985833	5,07380601
11/1/2020	846,5	304,666	487,166	1063,33	60,016	0,94	24,5	280	1200	81	4	0,0694	19.83	117702,819	1200	1	5,04397936
12/1/2020	851,166	308,833	486,833	1071,67	59,996	0,94	24,5	280	1200	81,666	4	0,0694	20.38	119555,52	1200	1	5,0813338
13/1/2020	846,833	270,508	488,833	1070	60	0,94	24,5	280	1199,83	81,5	4	0,0694	20.19	119184,09	1200	0,99985833	5,07380601
14/1/2020	851,666	309,666	488	1078,33	60,035	0,94	24,5	280	1199,67	81,833	4	0,0694	20.49	121047,021	1200	0,999725	5,07380601
15/1/2020	842,5	308	488,833	1056,67	60,25	0,94	24,5	280	1200	81,833	4	0,0694	20.28	116232,13	1200	1	5,04156494
16/1/2020	845,5	307,833	490,166	1068,33	60,006	0,94	24,5	280	1199,83	82,333	4	0,0694	20.44	118812,348	1200	0,99985833	5,08616264
17/1/2020	843,166	310	486,666	1058,33	60,018	0,94	24,5	280	1199,83	82,333	4	0,0694	20.51	116598,495	1200	0,99985833	5,07622043
18/1/2020	852,666	307,166	488,166	1071,66	60,0133	0,94	24,5	280	1200	81,833	4	0,0694	20.55	119554,182	1200	1	5,01898156
19/1/2020	851,166	323,333	485,166	1077,5	60,006	0,935	24,5	280	1199,83	81,166	4	0,0694	20.54	120860,751	1200	0,99985833	5,03162273
20/1/2020	875,5	314,333	486,5	1083	60,018	0,942	24,5	280	1197,83	80,166	4	0,0694	17.71	122097,745	1200	0,99819167	5,07891938
21/1/2020	846,33	315,333	487,333	1066,66	60,018	0,938	24,5	280	1198,5	79,666	4	0,0694	20.3	118441,186	1200	0,99875	4,75025721
22/1/2020	852,3	314,333	486,5	1060	60,001	0,94	24,5	280	1199	81,5	4	0,0694	20.37	116966,76	1200	0,99916667	5,02650935
23/1/2020	852,66	306,5	487	1071,66	60,0133	0,94	24,5	280	1200	80,833	4	0,0694	20.41	119554,182	1200	1	4,78278281
24/1/2020	849	307	488,666	1053,33	59,998	0,94	24,5	280	1200,5	80,5	4	0,0694	20.46	115500,034	1200	1,00041667	4,98191165
25/1/2020	845,833	307,833	487,8333	1062,5	59,991	0,94	24,5	280	1200	81	4	0,0694	20.28	117519,141	1200	1	5,06144937
26/1/2020	853,8	308,4	451,4	1066	60,006	0,94	24,5	280	1200	80	4	0,0694	20.23	118294,66	1200	1	5,09610486
27/1/2020	855,166	310,833	486,166	1083	60,00166	0,937	24,5	280	1199,33	80,333	4	0,0694	20.63	122097,745	1200	0,99944167	4,66830507
28/1/2020	853	307,66	486,166	1068,67	59,99	0,94	24,5	280	1200	81,33	4	0,0694	20.41	118887,095	1200	1	5,11627382
29/1/2020	853,666	307,333	487	1072	59,995	0,937	24,5	280	1200,17	80,833	4	0,0694	20.39	119630,054	1200	1,00014167	5,03645157
30/1/2020	852,166	309,166	485,5	1070,66	60,01	0,937	24,5	280	1200	80	4	0,0694	20.44	119331,166	1200	1	5,05903495
31/1/2020	850,333	307,166	486,833	1068,33	60,001	0,938	24,5	280	1199,33	80	4	0,0694	20.34	118812,348	1200	0,99944167	5,03403715

Perdidas en el estator

$$P_s = 1.5 \cdot I^2 \cdot R$$

$$P_s = 1.5 \cdot (107.4)^2 \cdot 0.0694$$

$$P_s = 1200.7686 \text{ W}$$

Perdidas en el rotor

$$P_r = P_a \cdot S$$

$$S = \frac{n_i}{n_s}$$

$$S = \frac{1199.6}{1200}$$

$$S = 0.99966 \text{ p.u}$$

$$P_h = 10100.572 \text{ W}$$

$$P_{st} = 1000 \text{ kW} \cdot 0.012$$

$$P_{st} = 12000 \text{ W}$$

Perdidas adicionales

$$P_{LL} = 850 \text{ kW} \cdot 0.012$$

$$P_{ll} = 10200 \text{ W}$$

$$P_a = P_{st} + P_h + P_s$$

$$P_a = 10100.572 + 10200 + 12000.7686$$

$$P_a = 32301.3406$$

$$P_r = 32301.3406 \cdot 0.99966$$

$$P_r = 32290.35814$$

Pérdidas Totales

$$P_T = 3229.35814 + 1200 + 1200.7686$$

$$P_T = 5028.287706 \text{ kW}$$

La eficiencia se calcula teniendo en cuenta la ecuación 4.3 establecida por la IEEE 112

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ salida + perdidas}$$

$$Eficiencia = \frac{20.20}{20.20 + 5.2828} \cdot 100$$

$$Eficiencia = 79.26915 \%$$

5.5. EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICO

5.5.1. Económico

La inversión para el desarrollo de la herramienta informática se planteó con una serie de programaciones que contengan licencias auténticas.

Gastos Directos.

Se relacionan con la implementación y compra de elementos que se van a ocupar para el diseño de la herramienta informática.

En esto la estimación del costo que se invirtió en el desarrollo de Matlab se lo realizara en base a costo de las licencias y el tiempo que se ha invertido en el desarrollo que serán descritas en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Presupuesto de equipos utilizados.

Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Computador personal	2	\$ 0	\$ 0.00
Teléfono celular	2	\$ 0	\$ 0.00
Instalaciones de Software	2	\$ 100	\$ 200.00
Programas adicionales	5	\$ 25	\$ 125.00
Manual de Software	1	\$ 35	\$ 35.00
TOTAL			\$ 360.00

Gastos Indirectos

Gastos que se incluyen de forma indirecta, que son incluidos en el desarrollo de la herramienta informática para la evaluación de eficiencia energética.

En la Tabla 5.7., se presenta el presupuesto que está planteado de los gastos que se han empleado en el diseño.

Tabla 5.7. Presupuesto de gastos indirectos.

Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Alimentación	2	\$2.50	\$ 5.00
Transporte	2	\$5.00	\$ 10.00
Varios	2	\$8.00	\$ 16.00
TOTAL			\$ 31.00

$$GD + GI = \$ (360.00 + 31.00)$$

$$10 \% \text{ de imprevistos} = \$ 391.00 * 10\% = \$ 39.1$$

$$GT = GD + GI + 10 \% \text{ de imprevistos}$$

$$GT = \$ 360.00 + \$31.00 + \$ 39.1 = \$ \mathbf{430.1}$$

5.5.2. Evaluación Técnica

La aplicación de este proyecto está enfocada en el desarrollo de una herramienta informática para la evaluación de eficiencia energética generadores, esta herramienta está diseñado para visualizar gráficas de relación entre la energía térmica, potencia y eficiencia, el entrenamiento de una red neuronal, calcular la energía generada y la eficiencia mediante una base de datos históricos que se ha registrado en el programa.

Con la aplicación de esta herramienta permite obtener una base de datos para la proyección de generación de energía considerando la capacidad de carga que se encuentre operando la máquina y la eficiencia energética a la que se encuentra la máquina, generando información de acuerdo a la base de datos que se registraron de los meses anteriores.

Presenta un conocimiento en el área de la informática haciendo posible que con el desarrollo de la herramienta en Matlab se puede presentar la evaluación de la eficiencia energética que va a presentar la máquina, se considera un uso fácil de acuerdo a la información incorporada.

La evaluación de la eficiencia se puede realizar con el uso de la energía térmica y la energía generada que se realiza con respecto a la base de datos obtenidos, con el desarrollo de la red neuronal se puede obtener un mejor registro de la eficiencia considerando un entrenamiento empleado a la red con el registro de datos históricos.

5.5.3. Evaluación Ambiental

El desarrollo de la herramienta informática se aplicó en el software Matlab no representa ningún tipo de impacto para el medio ambiente, debido a que esta herramienta permite obtener una proyección de datos de generación y la eficiencia energética que presenta una máquina de generación de energía eléctrica acorde la capacidad que se encuentra operando.

5.5.4. Evaluación Social

El desarrollo de la herramienta informática se realizó como un aporte para la comunidad universitaria para la evaluación de eficiencia energética en los generadores y predicción de generación de energía de un generador y la eficiencia, resultados que se pueden emplear para una posibilidad de generación de energía para los meses siguientes.

6. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

6.1. CONCLUSIONES

Se presenta una recopilación de información que se enfoca en el desarrollo de la herramienta informática, considerando los parámetros establecidos para la evaluación de la eficiencia energética tales como energía térmica, pérdidas, altura sobre el nivel del mar, temperatura ambiente, conociendo así las condiciones en las cuales está operando el generador de combustión interna durante el periodo 2019 -2020.

Con la adquisición de un reporte de datos de generación adquiridos por el personal técnico de la empresa se diseñó una base de datos históricos editable la cual permitió el almacenamiento de datos necesarios para la herramienta informática que fueron utilizados para la evaluación de la eficiencia energética.

Se desarrolló una herramienta informática con una interfaz gráfica de uso didáctico para el personal mediante el diseño de un modelo matemático aplicado al entrenamiento de la red neuronal, que permite el registro de datos que son aplicados para el cálculo de la predicción de eficiencia energética del generador.

Los reportes de los análisis de eficiencia energética para el mes de enero del 2020 obtenidos en la herramienta informática presentan un valor promedio del 80 % al igual que los valores

calculados en Microsoft Excel que corresponde a un promedio del 79 % con un error del 1 % mismo que se da por el entrenamiento de la red neuronal, estos valores de eficiencia se encuentran en el rango que establecen la normativa IEEE std 112 y los fabricantes para este tipo de generadores de combustión interna.

6.2. RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar búsquedas bibliográficas para el uso de las herramientas informáticas debido a que se presentan actualizaciones constantemente de los diferentes softwares de programación.

Se recomienda implementar una base de datos históricos de generación de energía para el ingreso a la herramienta informática para aplicar en el entrenamiento de la red neuronal que permita conocer los datos relevantes que se ocuparan para ejecutar en cálculos de la eficiencia energética.

Se recomienda que para futuros trabajos referentes a eficiencia de generadores se tome en cuenta la posibilidad de añadir más funcionalidades, mismas que darán mayor robustez a la herramienta informática y a la vez dándole un mayor valor agregado a la misma.

Se recomienda verificar que la herramienta informática tenga acceso a los datos históricos ya que serán utilizados para la predicción de la red neuronal, estos datos serán analizados para un cálculo de la eficiencia energética.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. A. Carvajal, Eficiencia energética de motores y generadores eléctricos, ciudad de México, 2008.
- [2] M. Llanos Vega, Diseño de una herramienta para evaluar la eficiencia energética de un sistema de compresión, Oviedo: Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo, 2017.
- [3] R. Jiménez, A. Madrigal, M. Lapidó y D. Vidal , «Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor,» *Ingeniería Energética*, vol. XXXVII, nº 2, pp. 135-143, 2016.
- [4] R. A. Mancebo Boloy, E. Vega Camejo, P. C. Uribazo Díaz y C. H. Tamajón Reyes, «Software para el Diagnóstico Energético en sistemas de Generación de Vapor de agua,» *Redalyc*, nº 2, pp. 1-16, 2006.
- [5] L. Lopez, «EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE GENERADORES DE VAPOR – ESTUDIO DE CASO: ECOPEPETROL S.A,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2017.
- [6] A. Arjona Aguado, Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor, Sevilla, 2019.
- [7] V. Hurtado y Á. Almarza, «Valoración energética y termoeconómica de los sistemas de vapor. Una herramienta informática aplicada en el marco de la gestión de energía.,» *INGENIERÍA UC*, vol. XXI, nº 2, pp. 27-34, 2014.
- [8] J. Serra, Guía Técnica de eficiencia energética eléctrica, Segunda ed., España: Circutor S.A, 2008.
- [9] G. A. López López y E. A. Figueroa Barrionuevo, AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS ADMINISTRATIVO Y DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [10] J. I. García Silva y I. A. Vinza Carvajal, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN BASE A LA NORMA ISO 50001 PARA LA EMPRESA “LA IBÉRICA”, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.

- [11] S. Nasar, ELECTROMECHANICA Y MAQUINAS ELECTRICAS, MEXICO DF: LIMUSA, 1997.
- [12] R. Serway y R. Beichner, Tomo II Fisica para las ciencias e ingenierias, Mexico: McGRAW-HILL, 2002.
- [13] GE Power, Waukesha gas engines, 2015.
- [14] A. Hermosa Donate, Principios de electricidad y electronica II, Barcelona: MarCombo, 1999.
- [15] T. Wildi, Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia, Sexta ed., Mexico: Pearson Educación, 2007.
- [16] O. Sanchez Salazar, «Generador sincrónico,» Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.academia.edu/11046195/USAC>. [Último acceso: 12 12 2021].
- [17] Pahuanquiza y J. A. Guamantica, DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN GENERADORES ELECTRICOS, Quito: UPS, 2015.
- [18] J. A. Pahuanquiza Guamantica, DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN GENERADORES ELÉCTRICOS, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [19] V. Mondragon , W. Pineda y C. Trejo, generación de energia electrica por imanes de neodimio, Mexico: Esime, 2015.
- [20] J. P. Tonato Muñoz, MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELÉCTRICO DEL GENERADOR SÍNCRONO DE UNA UNIDAD DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE SOPLADORA, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [21] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas, Quinta ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2012.
- [22] L. A. Guardiola de Cabo, «Análisis de la norma IEC 60034-2-1. Aplicación de la determinación de las pérdidas y el rendimiento de motores de inducción trifásicos,» IEC, nº 1, 2011.
- [23] P. Equipo, «La tecnología al servicio de generadores más eficientes para la industria,» *Electro industria*, vol. XVI, nº 175, pp. 32-34, 2016.
- [24] A. Caiza, «Factores que afectan la potencia de salida de los generadores eléctricos,» *Renthal Machinere Services*, vol. X, nº 2, pp. 1-4, 2019.
- [25] R. W. Plata Cheje , «MatLab & Redes Neuronales,» *Revistas Bolivianas*, vol. I, nº 1, pp. 90-96, 2008.

- [26] R. Camps Paré, L. A. Casillas Santillán, D. Costal Costa, M. G. Ginestà, C. M. Escofet y O. Pérez Mora, *Sotware Libre*, Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya, 2005.
- [27] J. San Miguel, *DESARROLLO CON MATLAB DE UNA RED NEURONAL PARA ESTIMAR LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA*, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2016.
- [28] L. A. Guardiola de Cabo, *Análisis de la norma IEC 600342-1 Aplicación en la determinación de las pérdidas y el rendimiento de motores de inducción trifásicos*, Catalunya, 2008.
- [29] IEEE, *Procedimiento de prueba estándar IEEE para motores y generadores de inducción polifásicos*, New York, 2004.
- [30] I. M. Martínez Mancia y F. J. Santos Martínez, *Generación de modelos estadísticos utilizando redes neuronales*, Santa Ana, 2019.
- [31] E. R. Reginaldo Quispe, *evaluación de eficiencia energética de máquinas herramientas en el taller automotriz del IESTP Mario Gutiérrez López, Orcotuna-Concepción, Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú*, 2018.
- [32] A. Pérez y Y. Fernández, «Evaluación de la generación de vapor de la fábrica de refrescos 23 de Agosto, en Camagüey,» *Mutis*, vol. VII, n° 1, pp. 7-19, 2017.
- [33] R. González de la Cruz, J. Reyes y A. Pérez, «Evaluación energética y exergética del generador de vapor #3 de la UEB Central Azucarero Ecuador, Cuba,» *Atamexico*, vol. X, n° 6, pp. 1-10, 2013.
- [34] F. Carvajal y R. Gonzales, *Evaluación de la eficiencia energética de generadores en plantas hidroeléctricas: Caso de estudio*, Lima: Tendencias Tecnológicas, 2015.
- [35] R. F. Güiza Pineda y V. H. Rangel Hernández, «METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CALDERAS DE BAJA POTENCIA,» *Jovenes en la Ciencia*, vol. III, n° 2, pp. 2628-2634, 2017.
- [36] B. J. Galindo Ramírez, *Análisis comparativo de las normativas IEC60034-2-1 y IEEE112 para determinar la eficiencia de motores de inducción*, Cali, 2010.

8. ANEXOS

Anexo A: Reporte de Datos PG Waukesha.

UNIDAD		M.CORRECTIVO					RESTRICCIÓN OPERATIVA					M.PREVENTIVO		
		INICIO	FIN	INICIO	FIN	TOTAL	INICIO	FIN	INICIO	FIN	TOTAL	INICIO	FIN	TOTAL
WAU 5		00:00	24:00			24:00					00:00			00:00
WAU 6		08:15	17:00			08:45					00:00			00:00
WAU 7						00:00					00:00			00:00
WAU 8						00:00					00:00			00:00

DISP.	OPER.	TOTAL	MEDIDORES DE ENERGIA			HOROMETROS			CONSUMO GAS	
			AYER	HOY	TOTAL	AYER	HOY	H. DIA	SFT/D	MCF/D
00:00	00:00	24:00	10305870.00	10305870.00	0.00	12345.47	12345.47	0.00	0.00	0.00
00:00	15:15	24:00	10343130.00	10355610.00	12480.00	12374.46	12389.71	15.25	153004.80	153.00
00:00	24:00	24:00	9964850.00	9985230.00	20380.00	11953.29	11977.29	24.00	249858.80	249.86
00:00	24:00	24:00	9800630.00	9820830.00	20200.00	11761.40	11785.40	24.00	247652.00	247.65

ENERGIA TOTAL DIA (KW)	53060.00	CONSUMO GAS WAUKESHA (MSCF)	650.52
-------------------------------	-----------------	------------------------------------	---------------

HORA	POTENCIA GENERADA [MW] (1)						
	WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8	TOTAL	ENERGIA EXPORTADA AL SEIP	AUX. CONSUMO INTERNO
01:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.182
02:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.185
03:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.182
04:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.181
05:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.182
06:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.182
07:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.37	0.180
08:00	M.CORR	0.85	0.85	0.85	2.55	2.38	0.175
09:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.177
10:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.53	0.175
11:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.178
12:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.53	0.174

13:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.178
14:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.184
15:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.181
16:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.178
17:00	M.CORR	M.CORR	0.85	0.85	1.70	1.52	0.183
18:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.27	0.184
19:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.27	0.184
20:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.27	0.182
21:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.27	0.181
22:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.27	0.185
23:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.26	0.186
24:00	M.CORR	0.75	0.85	0.85	2.45	2.26	0.187
P DISP/DIA	0	13.50	21.60	21.60	563	2.02	0.181
P.CONSU/DIA	0.000	12.050	20.400	20.400	502		
P.RODAN/DIA	0.000	1.450	1.200	1.200	60		
P.FRIO/DIA	0.00	0.00	0.00	0.000	0		
PROMEDIO					0		

POTENCIA DISPONIBLE [MW]				
WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8	TOTAL
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	M.CORR	0.900	0.900	1.80
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70

FACTOR DE POTENCIA			
WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.95	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.00	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94

M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
M.CORR	0.900	0.900	0.900	2.70
0.00	0.56	0.90	0.90	2.363

0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94
0.00	0.94	0.94	0.94

PP.DISP/DIA	P.CONSU/DIA	P.RODAN/DIA	P.FRIO/DIA
56,700.0	52.85	3,850	0.00

POTENCIA REACTIVA GENERADA [MVar]				
WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8	TOTAL
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.30	0.31	0.31	0.92
0.00	0.30	0.30	0.30	0.90
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.00	0.30	0.31	0.61
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.00	0.30	0.29	0.59
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.00	0.30	0.30	0.60
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86
0.00	0.27	0.29	0.30	0.86

MODO DE OPERACIÓN BASE/DROOP			
WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8
		BASE	BASE
	BASE	BASE	BASE
		BASE	BASE
	BASE	BASE	BASE



CENTRAL WAUKESHA - SACHA CENTRAL	Reportado por:
DATOS DE POTENCIA, COMBUSTIBLE & ENERGÍA B60-SACHA CENTRAL	Fecha de Reporte:

UNIDAD	M.CORRECTIVO					RESTRICCIÓN OPERATIVA					M.PREVENTIVO		
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	TOTAL	INICIO	FIN	INICIO	FIN	TOTAL	INICIO	FIN	TOTAL
WAU 5					00:00					00:00			00:00
WAU 6					00:00					00:00			00:00
WAU 7					00:00					00:00			00:00
WAU 8					00:00					00:00			00:00

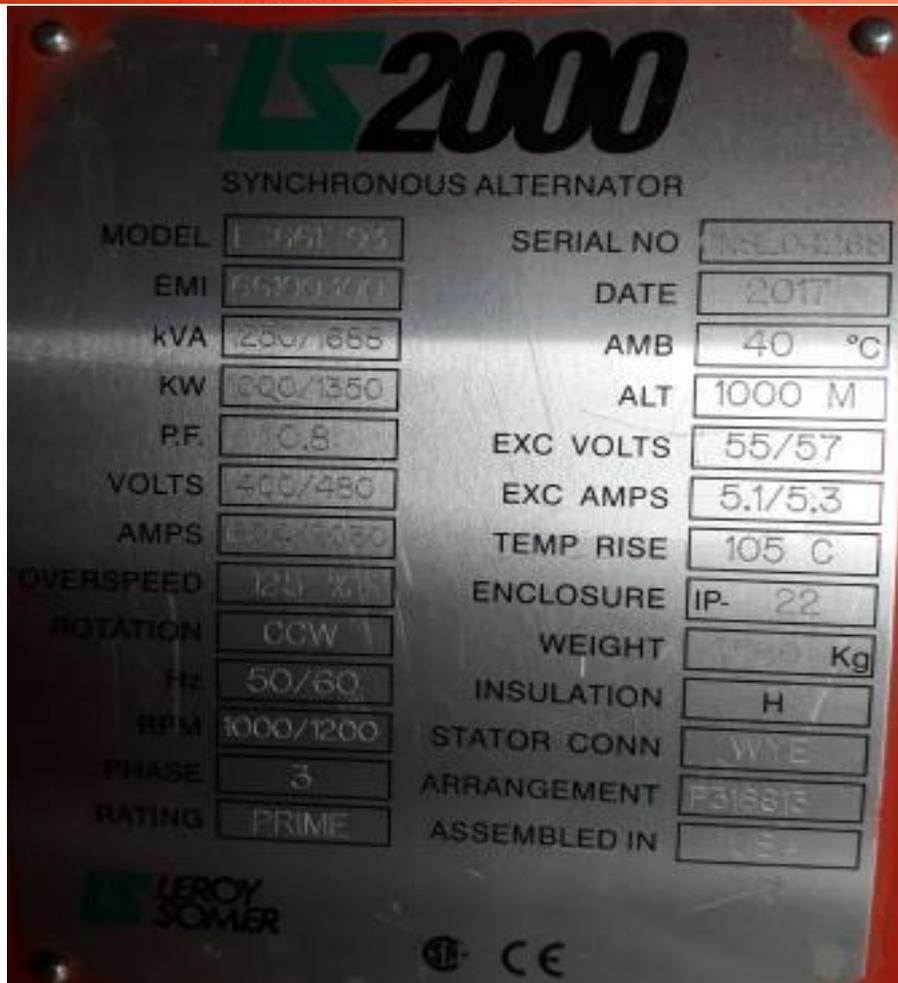
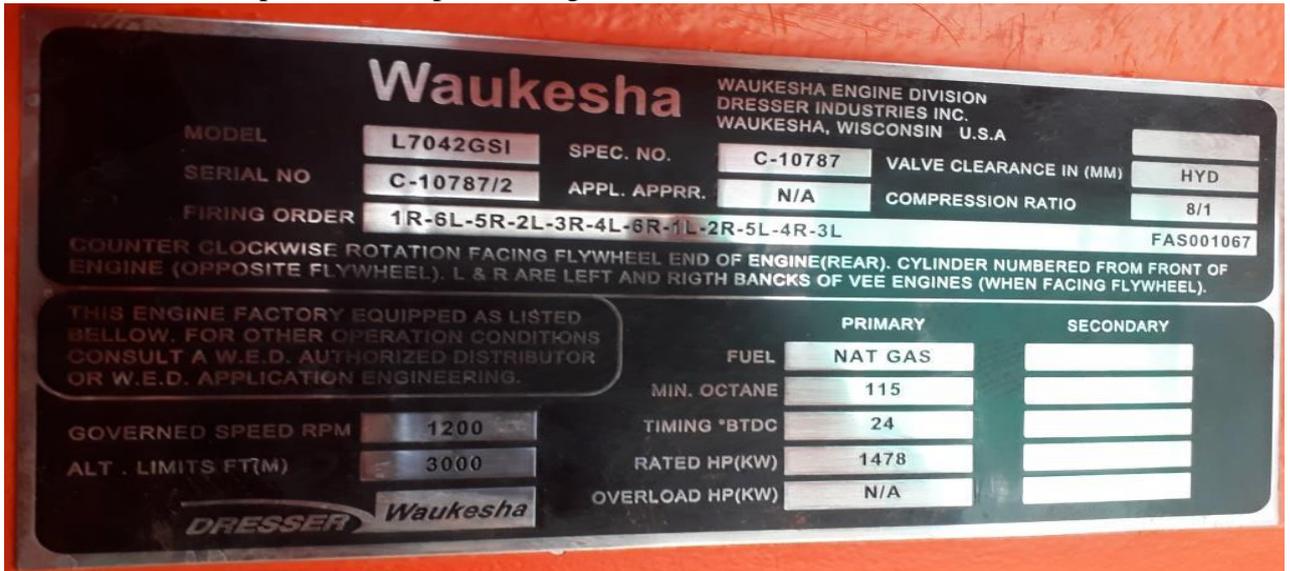
A. SANCHEZ
P. PARRAGA
31-Dec-2020

DISP.	OPER.	TOTAL	MEDIDORES DE ENERGIA			HOROMETROS			CONSUMO GAS	
			AYER	HOY	TOTAL	AYER	HOY	H. DIA	SFT/D	MCF/D
00:00	24:00	24:00	11483510.00	11503780.00	20270.00	13757.43	13781.43	24.00	204185.70	204.19
00:00	24:00	24:00	16716770.00	16737010.00	20240.00	19912.05	19936.05	24.00	201932.40	201.93
00:00	24:00	24:00	15905770.00	15924900.00	19130.00	19327.05	19351.05	24.00	186064.90	186.06
00:00	24:00	24:00	16141680.00	16161920.00	20240.00	19283.08	19307.08	24.00	188908.30	188.91

ENERGIA TOTAL DIA (KW)	79880.00	CONSUMO GAS WAUKESHA (MSCF)	781.09
-------------------------------	----------	------------------------------------	--------

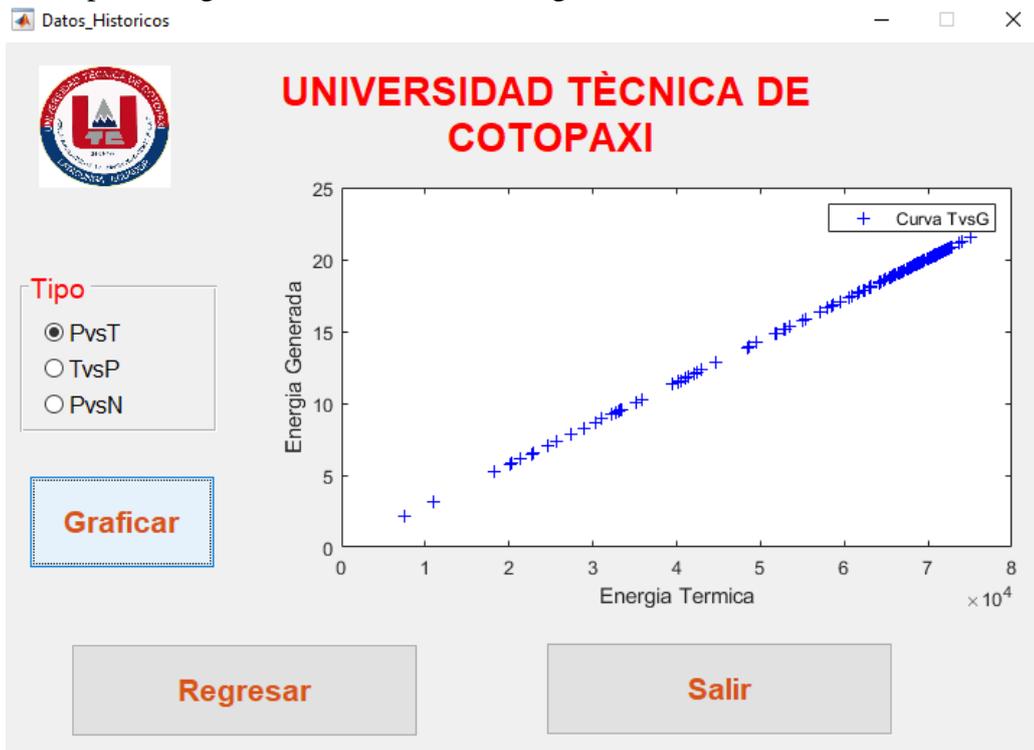
HORA	POTENCIA GENERADA [MW] (1)						
	WAU 5	WAU 6	WAU 7	WAU 8	TOTAL	ENERGÍA EXPORTADA AL SEIP	AUX. CONSUMO INTERNO
01:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.198
02:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.197
03:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.199
04:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.198
05:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.202
06:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.198
07:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.196
08:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.16	0.195
09:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.16	0.193
10:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.196
11:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.200
12:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.14	0.206
13:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.203
14:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.200
15:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.200
16:00	0.85	0.85	0.80	0.85	3.35	3.15	0.204

Anexo B. Datos de placa del Grupo Electrónico Waukesha

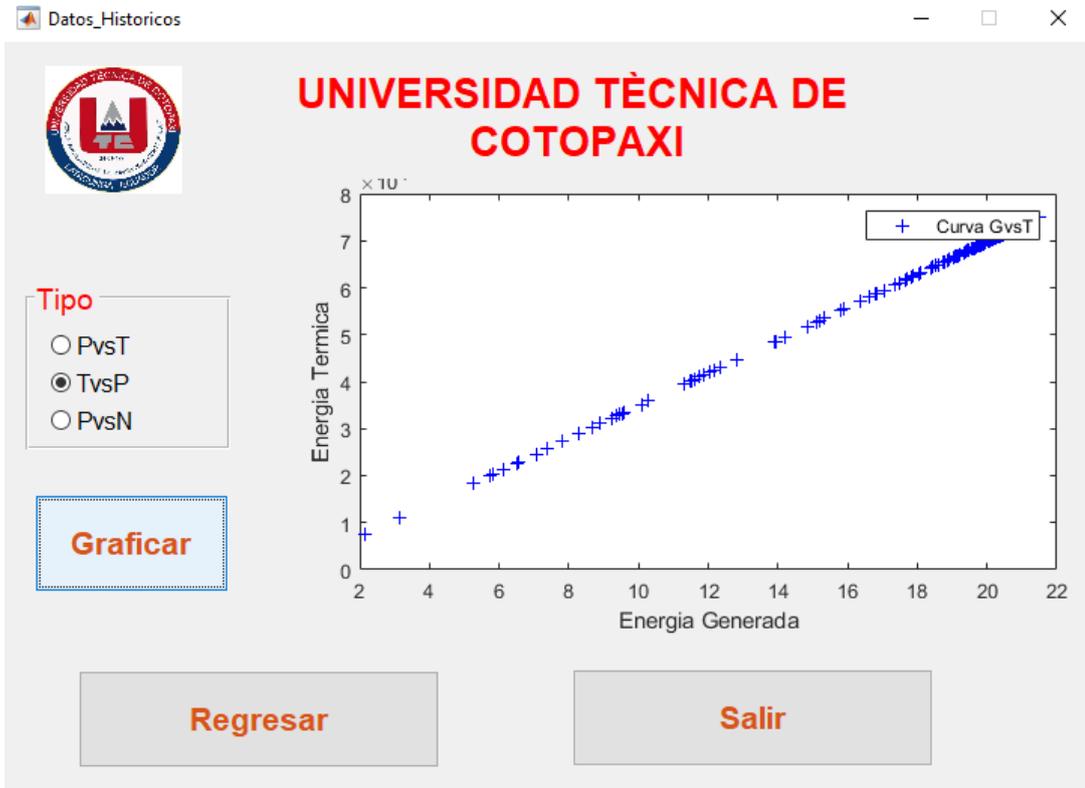




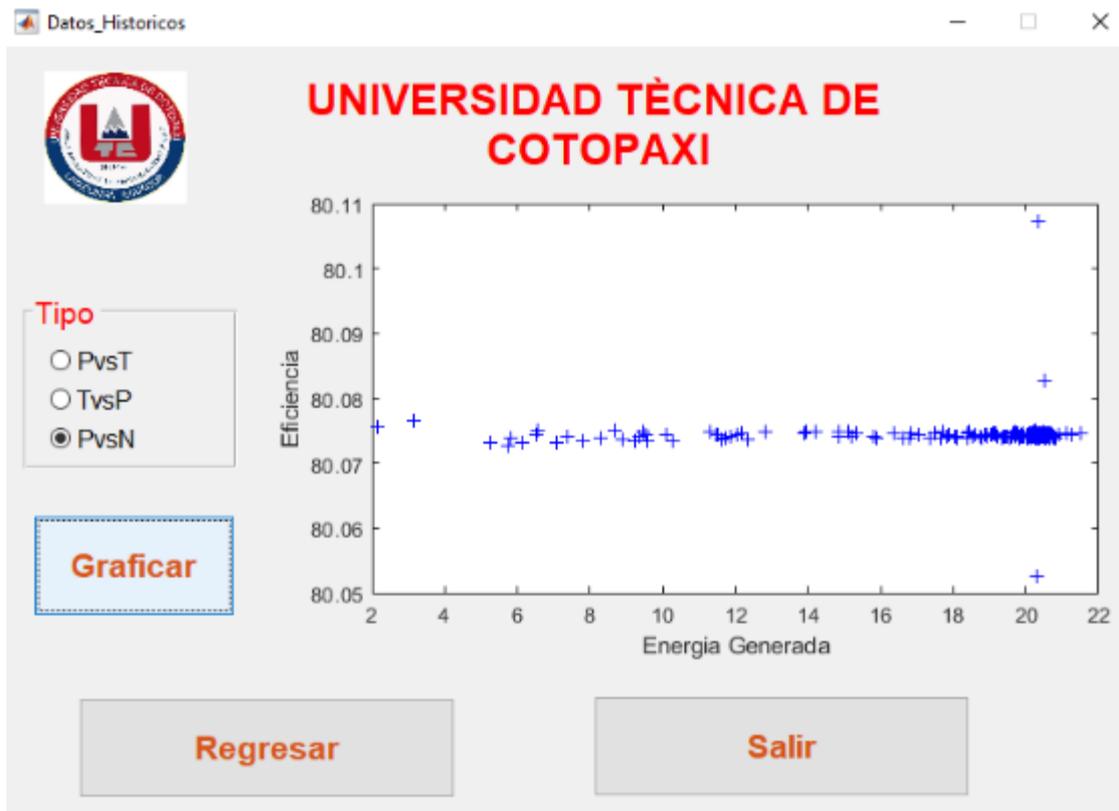
Anexo C. Reporte de grafica de Potencia vs Energía térmica



Anexo D: Reporte de grafica de Energía Térmica vs Potencia.



Anexo E: Reporte de grafica de eficiencia vs Potencia



Anexo F. Registro de Datos históricos de generación del grupo electrógeno Waukesha

Fecha	Cantidad de combustible (MCF/D)	Cantidad combustible a temp-Amb_Alt	Temperatura Ambiente (°C)	Altura nivel del mar (m)	Potencia Nominal (kW)	Voltaje (kV)	Energía térmica combustible (kWh)	Pérdidas Totales (kW)	Energía generada (MWh)	Factor de Potencia (Fp)
1/9/2019	254.52	247.1067961	25	250	850	480	72419.84901	5.165984901	20.76	0.94
2/9/2019	251.58	244.2524272	25	250	850	480	71583.3161	5.10633161	20.52	0.94
3/9/2019	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
5/9/2019	239.81	232.8252427	25	250	850	480	68234.33911	4.867433911	19.56	0.94
6/9/2019	260.28	252.6990291	25	250	850	480	74058.77062	5.282877062	21.23	0.94
7/9/2019	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
8/9/2019	182.18	176.8737864	25	250	850	480	51836.58688	3.697658688	14.86	0.94
9/9/2019	170.29	165.3300971	25	250	850	480	48453.46569	3.456346569	13.89	0.94
10/9/2019	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.07159	5.051507159	20.3	0.94
11/9/2019	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
12/9/2019	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
13/9/2019	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
14/9/2019	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
15/9/2019	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
16/9/2019	248.51	241.2718447	25	250	850	480	70709.79364	5.043979364	20.27	0.94
17/9/2019	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
18/9/2019	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
19/9/2019	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
20/9/2019	248.39	241.1553398	25	250	850	480	70675.64944	5.041564944	20.26	0.94
21/9/2019	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
22/9/2019	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
23/9/2019	247.28	240.0776699	25	250	850	480	70359.81558	5.018981558	20.17	0.94
24/9/2019	247.9	240.6796117	25	250	850	480	70536.22729	5.031622729	20.22	0.94
25/9/2019	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
26/9/2019	234.04	227.223301	25	250	850	480	66592.57214	4.750257214	19.09	0.94
27/9/2019	247.65	240.4368932	25	250	850	480	70465.09353	5.026509353	20.2	0.94
28/9/2019	235.64	228.776699	25	250	850	480	67047.82815	4.782782815	19.22	0.94
29/9/2019	245.45	238.3009709	25	250	850	480	69839.11653	4.981911653	20.02	0.94
30/9/2019	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
1/10/2019	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
2/10/2019	230	223.3009709	25	250	850	480	65443.05073	4.668305073	18.76	0.94
3/10/2019	252.07	244.7281553	25	250	850	480	71722.73825	5.116273825	20.56	0.94
4/10/2019	248.14	240.9126214	25	250	850	480	70604.51569	5.036451569	20.24	0.94
5/10/2019	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
6/10/2019	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.37149	5.034037149	20.23	0.94
7/10/2019	145.38	141.1456311	25	250	850	480	41365.69876	2.950769876	11.858	0.94
14/10/2019	64.27	62.39805825	25	250	850	480	18287.06465	1.304506465	5.242	0.94
15/10/2019	253.78	246.3883495	25	250	850	480	72209.2931	5.15092931	20.7	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

16/10/2019	231.96	225.2038835	25	250	850	480	66000.73933	4.708073933	18.92	0.94
17/10/2019	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.37149	5.034037149	20.23	0.94
18/10/2019	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
19/10/2019	115	111.6504854	25	250	850	480	32721.52536	2.334152536	9.38	0.94
20/10/2019	38.37	37.25242718	25	250	850	480	10917.60807	0.778760807	3.13	0.94
21/10/2019	200.57	194.7281553	25	250	850	480	57069.18559	4.070918559	16.36	0.94
22/10/2019	70.5	68.44660194	25	250	850	480	20059.71772	1.430971772	5.75	0.94
23/10/2019	86.56	84.03883495	25	250	850	480	24629.34987	1.756934987	7.06	0.94
24/10/2019	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
25/10/2019	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
26/10/2019	248.39	241.1553398	25	250	850	480	70675.64944	5.041564944	20.26	0.94
27/10/2019	256.11	248.6504854	25	250	850	480	72872.25966	5.198225966	20.89	0.94
28/10/2019	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
29/10/2019	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
30/10/2019	116.96	113.5533981	25	250	850	480	33279.21397	2.373921397	9.54	0.94
31/10/2019	170.9	165.9223301	25	250	850	480	48627.03204	3.468703204	13.94	0.94
1/11/2019	151.17	146.7669903	25	250	850	480	43013.15643	3.068315643	12.33	0.94
2/11/2019	147.61	143.3106796	25	250	850	480	42000.21182	2.996021182	12.04	0.94
3/11/2019	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.37149	5.034037149	20.23	0.94
4/11/2019	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
5/11/2019	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
6/11/2019	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
7/11/2019	251.58	244.2524272	25	250	850	480	71583.3161	5.10633161	20.52	0.94
8/11/2019	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
9/11/2019	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
10/11/2019	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
11/11/2019	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
12/11/2019	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
13/11/2019	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
14/11/2019	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.07159	5.048507159	20.33	0.94
15/11/2019	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
16/11/2019	248.27	241.038835	25	250	850	480	70641.50524	5.039150524	20.25	0.94
17/11/2019	193.71	188.0679612	25	250	850	480	55117.27546	3.931727546	15.8	0.94
18/11/2019	219.33	212.9417476	25	250	850	480	62407.06224	4.451706224	17.89	0.94
19/11/2019	242.5	235.4368932	25	250	850	480	68999.73827	4.921973827	19.78	0.94
20/11/2019	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
21/11/2019	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
22/11/2019	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.03815	5.098803815	20.49	0.94
23/11/2019	247.77	240.5533981	25	250	850	480	70499.23773	5.028923773	20.21	0.94
24/11/2019	254.15	246.7475728	25	250	850	480	72314.57106	5.158457106	20.73	0.94
25/11/2019	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.92739	5.049092739	20.29	0.94
26/11/2019	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
27/11/2019	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
28/11/2019	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.03815	5.098803815	20.49	0.94
29/11/2019	225.71	219.1359223	25	250	850	480	64222.39556	4.581239556	18.41	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

30/11/2019	240.42	233.4174757	25	250	850	480	68407.90546	4.879790546	19.61	0.94
1/12/2019	245.69	238.5339806	25	250	850	480	69907.40493	4.986740493	20.04	0.94
2/12/2019	253.29	245.9126214	25	250	850	480	72069.87095	5.140987095	20.66	0.94
3/12/2019	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.92739	5.049092739	20.29	0.94
4/12/2019	238.46	231.5145631	25	250	850	480	67850.21686	4.840021686	19.45	0.94
5/12/2019	232.08	225.3203883	25	250	850	480	66034.88354	4.710488354	18.93	0.94
6/12/2019	245.57	238.4174757	25	250	850	480	69873.26073	4.984326073	20.03	0.94
7/12/2019	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
8/12/2019	26.48	25.70873786	25	250	850	480	7534.486884	0.537448688	2.16	0.94
12/12/2019	101.76	98.7961165	25	250	850	480	28954.28192	2.065428192	8.3	0.94
13/12/2019	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
14/12/2019	252.43	245.0776699	25	250	850	480	71825.17085	5.123517085	20.59	0.94
15/12/2019	243.36	236.2718447	25	250	850	480	69244.43837	4.939443837	19.85	0.94
16/12/2019	247.04	239.8446602	25	250	850	480	70291.52718	5.014152718	20.15	0.94
17/12/2019	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
18/12/2019	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
19/12/2019	185.49	180.0873786	25	250	850	480	52778.39774	3.764839774	15.13	0.94
20/12/2019	247.28	240.0776699	25	250	850	480	70359.81558	5.018981558	20.17	0.94
21/12/2019	247.53	240.3203883	25	250	850	480	70430.94933	5.024094933	20.19	0.94
22/12/2019	255.38	247.9417476	25	250	850	480	72664.54911	5.183454911	20.83	0.94
23/12/2019	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
24/12/2019	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
25/12/2019	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
26/12/2019	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
27/12/2019	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
28/12/2019	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
29/12/2019	246.3	239.1262136	25	250	850	480	70080.97128	4.999097128	20.09	0.94
31/12/2019	244.59	237.4660194	25	250	850	480	69594.41642	4.964441642	19.95	0.94
1/1/2020	247.65	240.4368932	25	250	850	480	70465.09353	5.026509353	20.2	0.94
2/1/2020	252.68	245.3203883	25	250	850	480	71896.3046	5.12863046	20.61	0.94
3/1/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
4/1/2020	142.22	138.0776699	25	250	850	480	40466.56815	2.886656815	11.6	0.94
5/1/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
6/1/2020	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.07159	5.051507159	20.3	0.94
7/1/2020	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.92739	5.049092739	20.29	0.94
8/1/2020	228.28	221.631068	25	250	850	480	64953.65052	4.633365052	18.62	0.94
9/1/2020	248.51	241.2718447	25	250	850	480	70709.79364	5.043979364	20.27	0.94
10/1/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
11/1/2020	243.12	236.038835	25	250	850	480	69176.14997	4.934614997	19.83	0.94
12/1/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
13/1/2020	247.53	240.3203883	25	250	850	480	70430.94933	5.024094933	20.19	0.94
14/1/2020	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.03815	5.098803815	20.49	0.94
15/1/2020	248.63	241.3883495	25	250	850	480	70743.93784	5.046393784	20.28	0.94
16/1/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
17/1/2020	251.45	244.1262136	25	250	850	480	71546.32655	5.103632655	20.51	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

18/1/2020	251.94	244.6019417	25	250	850	480	71685.7487	5.11357487	20.55	0.94
19/1/2020	251.82	244.4854369	25	250	850	480	71651.6045	5.11116045	20.54	0.94
20/1/2020	217.12	210.7961165	25	250	850	480	61778.23989	4.406823989	17.71	0.94
21/1/2020	249.12	241.8640777	25	250	850	480	70883.35999	5.058335999	20.3	0.94
22/1/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
23/1/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
24/1/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
25/1/2020	248.63	241.3883495	25	250	850	480	70743.93784	5.046393784	20.28	0.94
26/1/2020	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.37149	5.034037149	20.23	0.94
27/1/2020	252.92	245.5533981	25	250	850	480	71964.593	5.1334593	20.63	0.94
28/1/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
29/1/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
30/1/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
31/1/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
1/2/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
2/2/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
3/2/2020	227.18	220.5631068	25	250	850	480	64640.66202	4.611066202	18.53	0.94
4/2/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
5/2/2020	248.38	241.1456311	25	250	850	480	70672.80409	5.041280409	20.26	0.94
6/2/2020	243.73	236.631068	25	250	850	480	69349.71632	4.946971632	19.88	0.94
7/2/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
8/2/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
9/2/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
10/2/2020	249	241.7475728	25	250	850	480	70849.21579	5.053921579	20.31	0.94
11/2/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
12/2/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
13/2/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
14/2/2020	241.64	234.6019417	25	250	850	480	68755.03817	4.904503817	19.71	0.94
15/2/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
16/2/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
17/2/2020	251.58	244.2524272	25	250	850	480	71583.3161	5.10633161	20.52	0.94
18/2/2020	242.01	234.961165	25	250	850	480	68860.31612	4.912031612	19.74	0.94
19/2/2020	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.03815	5.098803815	20.49	0.94
20/2/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
21/2/2020	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
22/2/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
23/2/2020	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.03815	5.098803815	20.49	0.94
24/2/2020	247.9	240.6796117	25	250	850	480	70536.22729	5.031622729	20.22	0.94
25/2/2020	253.29	245.9126214	25	250	850	480	72069.87095	5.140987095	20.66	0.94
26/2/2020	248.63	241.3883495	25	250	850	480	70743.93784	5.046393784	20.28	0.94
27/2/2020	236.99	230.0873786	25	250	850	480	67431.9504	4.81019504	19.33	0.94
28/2/2020	206.21	200.2038835	25	250	850	480	58673.963	4.1853963	16.82	0.94
29/2/2020	109.24	106.0582524	25	250	850	480	31082.60375	2.217260375	8.91	0.94
1/3/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
2/3/2020	126.16	122.4854369	25	250	850	480	35896.936	2.5606936	10.29	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

3/3/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
4/3/2020	252.43	245.0776699	25	250	850	480	71825.17085	5.123517085	20.59	0.94
5/3/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
6/3/2020	252.07	244.7281553	25	250	850	480	71722.73825	5.116273825	20.56	0.94
7/3/2020	113.41	110.1067961	25	250	850	480	32269.11471	2.301911471	9.25	0.94
8/3/2020	141.48	137.3592233	25	250	850	480	40256.01225	2.871601225	11.54	0.94
9/3/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
10/3/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
11/3/2020	251.94	244.6019417	25	250	850	480	71685.7487	5.11357487	20.55	0.94
12/3/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
13/3/2020	247.65	240.4368932	25	250	850	480	70465.09353	5.026509353	20.2	0.94
14/3/2020	75.28	73.08737864	25	250	850	480	21419.79504	1.527979504	6.14	0.94
15/3/2020	149.08	144.7378641	25	250	850	480	42418.47827	3.025847827	12.16	0.94
16/3/2020	241.15	234.1262136	25	250	850	480	68615.61601	4.894561601	19.67	0.94
17/3/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
18/3/2020	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
19/3/2020	246.79	239.6019417	25	250	850	480	70220.39343	5.009039343	20.13	0.94
20/3/2020	252.92	245.5533981	25	250	850	480	71964.593	5.1334593	20.63	0.94
21/3/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
22/3/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
23/3/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
24/3/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
25/3/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
26/3/2020	234.53	227.6990291	25	250	850	480	66731.99429	4.760199429	19.13	0.94
27/3/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
28/3/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
29/3/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
30/3/2020	245.45	238.3009709	25	250	850	480	69839.11653	4.981911653	20.02	0.94
31/3/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
1/4/2020	251.58	244.2524272	25	250	850	480	71583.3161	5.10633161	20.52	0.94
2/4/2020	249	241.7475728	25	250	850	480	70849.21579	5.053921579	20.31	0.94
3/4/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
4/4/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
5/4/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
6/4/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
7/4/2020	222.03	215.5631068	25	250	850	480	63175.30675	4.506530675	18.11	0.94
8/4/2020	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.07159	5.051507159	20.3	0.94
9/4/2020	117.21	113.7961165	25	250	850	480	33350.34772	2.379034772	9.56	0.94
16/5/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
17/5/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
18/5/2020	235.02	228.1747573	25	250	850	480	66871.41644	4.770141644	19.17	0.94
19/5/2020	233.43	226.631068	25	250	850	480	66419.00579	4.737900579	19.04	0.94
20/5/2020	194.57	188.9029126	25	250	850	480	55361.97557	3.949197557	15.87	0.94
21/5/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
22/5/2020	208.91	202.8252427	25	250	850	480	59442.20751	4.240220751	17.04	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

23/5/2020	251.58	244.2524272	25	250	850	480	71583.3161	5.10633161	20.52	0.94
24/5/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
25/5/2020	205.85	199.8543689	25	250	850	480	58571.5304	4.17815304	16.79	0.94
26/5/2020	230.37	223.6601942	25	250	850	480	65548.32868	4.675832868	18.79	0.94
27/5/2020	252.43	245.0776699	25	250	850	480	71825.17085	5.123517085	20.59	0.94
28/5/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
29/5/2020	252.8	245.4368932	25	250	850	480	71930.4488	5.13104488	20.62	0.94
30/5/2020	187.82	182.3495146	25	250	850	480	53441.36429	3.812136429	15.32	0.94
31/5/2020	242.75	235.6796117	25	250	850	480	69070.87202	4.927087202	19.8	0.94
1/6/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
2/6/2020	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
3/6/2020	230	223.3009709	25	250	850	480	65443.05073	4.668305073	18.76	0.94
4/6/2020	221.05	214.6116505	25	250	850	480	62896.46245	4.486646245	18.03	0.94
5/6/2020	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
6/6/2020	243.24	236.1553398	25	250	850	480	69210.29417	4.937029417	19.84	0.94
7/6/2020	174.21	169.1359223	25	250	850	480	49568.8429	3.53588429	14.21	0.94
8/6/2020	232.08	225.3203883	25	250	850	480	66034.88354	4.710488354	18.93	0.94
9/6/2020	181.94	176.6407767	25	250	850	480	51768.29848	3.692829848	14.84	0.94
10/6/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
11/6/2020	241.89	234.8446602	25	250	850	480	68826.17192	4.909617192	19.73	0.94
12/6/2020	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
13/6/2020	251.7	244.368932	25	250	850	480	71617.4603	5.10874603	20.53	0.94
14/6/2020	216.76	210.4466019	25	250	850	480	61675.80729	4.399580729	17.68	0.94
15/6/2020	252.43	245.0776699	25	250	850	480	71825.17085	5.123517085	20.59	0.94
16/6/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
17/6/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
18/6/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
19/6/2020	251.21	243.8932039	25	250	850	480	71478.03815	5.098803815	20.49	0.94
20/6/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
21/6/2020	254.03	246.631068	25	250	850	480	72280.42685	5.156042685	20.72	0.94
22/6/2020	246.67	239.4854369	25	250	850	480	70186.24923	5.006624923	20.12	0.94
23/6/2020	253.29	245.9126214	25	250	850	480	72069.87095	5.140987095	20.66	0.94
24/6/2020	247.65	240.4368932	25	250	850	480	70465.09353	5.026509353	20.2	0.94
25/6/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
26/6/2020	147.61	143.3106796	25	250	850	480	42000.21182	2.996021182	12.04	0.94
27/6/2020	251.45	244.1262136	25	250	850	480	71546.32655	5.103632655	20.51	0.94
28/6/2020	252.07	244.7281553	25	250	850	480	71722.73825	5.116273825	20.56	0.94
29/6/2020	252.68	245.3203883	25	250	850	480	71896.3046	5.12863046	20.61	0.94
30/6/2020	230	223.3009709	25	250	850	480	65443.05073	4.668305073	18.76	0.94
1/7/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
2/7/2020	263.71	256.0291262	25	250	850	480	75034.72569	5.352472569	21.51	0.94
3/7/2020	241.28	234.2524272	25	250	850	480	68652.60556	4.897260556	19.68	0.94
4/7/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
5/7/2020	254.89	247.4660194	25	250	850	480	72525.12696	5.173512696	20.79	0.94
6/7/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

7/7/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
9/7/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
10/7/2020	253.05	245.6796117	25	250	850	480	72001.58255	5.136158255	20.64	0.94
11/7/2020	231.1	224.368932	25	250	850	480	65756.03923	4.690603923	18.85	0.94
12/7/2020	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
13/7/2020	248.14	240.9126214	25	250	850	480	70604.51569	5.036451569	20.24	0.94
14/7/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
15/7/2020	144.18	139.9805825	25	250	850	480	41024.25676	2.926425676	11.76	0.94
16/7/2020	249.12	241.8640777	25	250	850	480	70883.35999	5.056335999	20.32	0.94
17/7/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
18/7/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
19/7/2020	252.07	244.7281553	25	250	850	480	71722.73825	5.116273825	20.56	0.94
20/7/2020	243.97	236.8640777	25	250	850	480	69418.00472	4.951800472	19.9	0.94
21/7/2020	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.37149	5.034037149	20.23	0.94
22/7/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
23/7/2020	249.12	241.8640777	25	250	850	480	70883.35999	5.056335999	20.32	0.94
24/7/2020	248.02	240.7961165	25	250	850	480	70570.37149	5.034037149	20.23	0.94
25/7/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
26/7/2020	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
27/7/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
28/7/2020	248.27	241.038835	25	250	850	480	70641.50524	5.039150524	20.25	0.94
29/7/2020	249	241.7475728	25	250	850	480	70849.21579	5.053921579	20.31	0.94
30/7/2020	251.48	244.1553398	25	250	850	480	71554.8626	5.10348626	20.52	0.94
31/7/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
1/8/2020	248.27	241.038835	25	250	850	480	70641.50524	5.039150524	20.25	0.94
2/8/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
3/8/2020	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
4/8/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
5/8/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
6/8/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
7/8/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
8/8/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
9/8/2020	252.07	244.7281553	25	250	850	480	71722.73825	5.116273825	20.56	0.94
10/8/2020	249	241.7475728	25	250	850	480	70849.21579	5.053921579	20.31	0.94
11/8/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
12/8/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
13/8/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
14/8/2020	251.7	244.368932	25	250	850	480	71617.4603	5.10874603	20.53	0.94
15/8/2020	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
16/8/2020	247.65	240.4368932	25	250	850	480	70465.09353	5.026509353	20.2	0.94
17/8/2020	248.39	241.1553398	25	250	850	480	70675.64944	5.041564944	20.26	0.94
18/8/2020	249.12	241.8640777	25	250	850	480	70883.35999	5.056335999	20.32	0.94
20/8/2020	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.92739	5.049092739	20.29	0.94
21/8/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
22/8/2020	243.24	236.1553398	25	250	850	480	69210.29417	4.937029417	19.84	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

23/8/2020	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.07159	5.051507159	20.3	0.94
24/8/2020	252.43	245.0776699	25	250	850	480	71825.17085	5.123517085	20.59	0.94
25/8/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
26/8/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
27/8/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
28/8/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
29/8/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
30/8/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
31/8/2020	247.28	240.0776699	25	250	850	480	70359.81558	5.018981558	20.17	0.94
1/9/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
2/9/2020	252.07	244.7281553	25	250	850	480	71722.73825	5.116273825	20.56	0.94
3/9/2020	251.94	244.6019417	25	250	850	480	71685.7487	5.11357487	20.55	0.94
4/9/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
5/9/2020	241.15	234.1262136	25	250	850	480	68615.61601	4.894561601	19.67	0.94
6/9/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
7/9/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
8/9/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
9/9/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
10/9/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
11/9/2020	248.63	241.3883495	25	250	850	480	70743.93784	5.046393784	20.28	0.94
12/9/2020	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
13/9/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
14/9/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
15/9/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
16/9/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
17/9/2020	244.1	236.9902913	25	250	850	480	69454.99427	4.954499427	19.91	0.94
18/9/2020	232.08	225.3203883	25	250	850	480	66034.88354	4.710488354	18.93	0.94
19/9/2020	251.7	244.368932	25	250	850	480	71617.4603	5.10874603	20.53	0.94
20/9/2020	234.9	228.0582524	25	250	850	480	66837.27224	4.767727224	19.16	0.94
21/9/2020	80.3	77.96116505	25	250	850	480	22848.16075	1.629816075	6.55	0.94
22/9/2020	71.6	69.51456311	25	250	850	480	20372.70623	1.453270623	5.84	0.94
23/9/2020	240.66	233.6504854	25	250	850	480	68476.19386	4.884619386	19.63	0.94
24/9/2020	238.95	231.9902913	25	250	850	480	67989.63901	4.849963901	19.49	0.94
25/9/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
26/9/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
27/9/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
28/9/2020	251.45	244.1262136	25	250	850	480	71546.32655	5.103632655	20.51	0.94
29/9/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
30/9/2020	249.12	241.8640777	25	250	850	480	70883.35999	5.056335999	20.32	0.94
1/10/2020	116.1	112.7184466	25	250	850	480	33034.51387	2.356451387	9.47	0.94
2/10/2020	245.69	238.5339806	25	250	850	480	69907.40493	4.986740493	20.04	0.94
3/10/2020	253.29	245.9126214	25	250	850	480	72069.87095	5.140987095	20.66	0.94
4/10/2020	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
5/10/2020	248.51	241.2718447	25	250	850	480	70709.79364	5.043979364	20.27	0.94
6/10/2020	252.8	245.4368932	25	250	850	480	71930.4488	5.13104488	20.62	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

7/10/2020	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.92739	5.049092739	20.29	0.94
8/10/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
9/10/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
10/10/2020	251.7	244.368932	25	250	850	480	71617.4603	5.10874603	20.53	0.94
11/10/2020	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
12/10/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
13/10/2020	250.23	242.9417476	25	250	850	480	71199.19384	5.078919384	20.41	0.94
14/10/2020	259.05	251.5048544	25	250	850	480	73708.79257	5.257879257	21.13	0.94
15/10/2020	243.85	236.7475728	25	250	850	480	69383.86052	4.949386052	19.89	0.94
16/10/2020	251.7	244.368932	25	250	850	480	71617.4603	5.10874603	20.53	0.94
17/10/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
18/10/2020	247.16	239.961165	25	250	850	480	70325.67138	5.016567138	20.16	0.94
19/10/2020	157.17	152.592233	25	250	850	480	44720.36645	3.190036645	12.82	0.94
20/10/2020	79.69	77.36893204	25	250	850	480	22674.5944	1.61745944	6.5	0.94
21/10/2020	246.79	239.6019417	25	250	850	480	70220.39343	5.009039343	20.13	0.94
22/10/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
23/10/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
24/10/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
25/10/2020	214.18	207.9417476	25	250	850	480	60941.70698	4.347170698	17.47	0.94
26/10/2020	249.49	242.223301	25	250	850	480	70988.63794	5.063863794	20.35	0.94
27/10/2020	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
28/10/2020	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
29/10/2020	249.37	242.1067961	25	250	850	480	70954.49374	5.061449374	20.34	0.94
30/10/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
31/10/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
1/11/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
2/11/2020	249.61	242.3398058	25	250	850	480	71022.78214	5.066278214	20.36	0.94
3/11/2020	254.89	247.4660194	25	250	850	480	72525.12696	5.173512696	20.79	0.94
4/11/2020	246.06	238.8932039	25	250	850	480	70012.68288	4.994268288	20.07	0.94
5/11/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
6/11/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
7/11/2020	138.78	134.7378641	25	250	850	480	39487.76774	2.816776774	11.32	0.94
8/11/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
9/11/2020	250.47	243.1747573	25	250	850	480	71267.48224	5.083748224	20.43	0.94
10/11/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94
11/11/2020	96	93.2038835	25	250	850	480	27315.3603	1.94853603	7.83	0.94
12/11/2020	225.58	219.0097087	25	250	850	480	64185.40601	4.578540601	18.4	0.94
13/11/2020	221.91	215.4466019	25	250	850	480	63141.16255	4.504116255	18.1	0.94
14/11/2020	218.72	212.3495146	25	250	850	480	62233.49589	4.439349589	17.84	0.94
15/11/2020	90.48	87.84466019	25	250	850	480	25744.72709	1.836472709	7.38	0.94
18/11/2020	123.58	119.9805825	25	250	850	480	35162.83569	2.508283569	10.08	0.94
19/11/2020	246.92	239.7281553	25	250	850	480	70257.38298	5.011738298	20.14	0.94
20/11/2020	212.96	206.7572816	25	250	850	480	60594.57427	4.322457427	17.37	0.94
21/11/2020	237.6	230.6796117	25	250	850	480	67605.51675	4.822551675	19.38	0.94
22/11/2020	247.9	240.6796117	25	250	850	480	70536.22729	5.031622729	20.22	0.94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

23/11/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
24/11/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
25/11/2020	250.35	243.0582524	25	250	850	480	71233.33804	5.081333804	20.42	0.94
26/11/2020	254.4	246.9902913	25	250	850	480	72385.70481	5.163570481	20.75	0.94
27/11/2020	247.16	239.961165	25	250	850	480	70325.67138	5.016567138	20.16	0.94
28/11/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
29/11/2020	249.74	242.4660194	25	250	850	480	71059.77169	5.068977169	20.37	0.94
30/11/2020	249.86	242.5825243	25	250	850	480	71093.91589	5.071391589	20.38	0.94
1/12/2020	249.25	241.9902913	25	250	850	480	70920.34954	5.059034954	20.33	0.94
2/12/2020	251.08	243.7669903	25	250	850	480	71441.0486	5.09610486	20.48	0.94
3/12/2020	186.23	180.8058252	25	250	850	480	52988.95364	3.779895364	15.19	0.94
4/12/2020	250.84	243.5339806	25	250	850	480	71372.76019	5.091276019	20.46	0.94
5/12/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
6/12/2020	251.94	244.6019417	25	250	850	480	71685.7487	5.11357487	20.55	0.94
7/12/2020	221.05	214.6116505	25	250	850	480	62896.46245	4.486646245	18.03	0.94
8/12/2020	140.99	136.8834951	25	250	850	480	40116.5901	2.86165901	11.5	0.94
9/12/2020	250.96	243.6504854	25	250	850	480	71406.90439	5.093690439	20.47	0.94
10/12/2020	247.77	240.5533981	25	250	850	480	70499.23773	5.028923773	20.21	0.94
11/12/2020	250.59	243.2912621	25	250	850	480	71301.62644	5.086162644	20.44	0.94
12/12/2020	248.76	241.5145631	25	250	850	480	70780.92739	5.049092739	20.29	0.94
13/12/2020	106.29	103.1941748	25	250	850	480	30243.22549	2.157322549	8.67	0.94
14/12/2020	204.01	198.0679612	25	250	850	480	58047.986	4.1407986	16.64	0.94
16/12/2020	226.07	219.4854369	25	250	850	480	64324.82817	4.588482817	18.44	0.94
17/12/2020	249.98	242.6990291	25	250	850	480	71128.06009	5.073806009	20.39	0.94
18/12/2020	251.33	244.0097087	25	250	850	480	71512.18235	5.101218235	20.5	0.94
19/12/2020	250.1	242.815534	25	250	850	480	71162.20429	5.076220429	20.4	0.94
20/12/2020	248.88	241.631068	25	250	850	480	70815.07159	5.051507159	20.3	0.94
21/12/2020	250.72	243.4174757	25	250	850	480	71338.61599	5.088861599	20.45	0.94

Anexo G. Predicción de eficiencia

Predicción de Generación y Eficiencia Mes de abril 2021						
Fecha	Cantidad de combustible (MCF/D)	Cantidad combustible a temp-Amb_Alt	Energía térmica combustible (kWh)	Pérdidas Totales (Kw)	Energía generada (MWh)	100%
1/4/2021	245.79	238.631068	69935.85843	5.31858584	16.75	75.8997433
2/4/2021	208.66	202.5825243	59371.07376	4.51510738	14.22	75.9002856
3/4/2021	269.7	261.8446602	76739.09035	5.83590904	18.38	75.9005164
4/4/2021	241.82	234.776699	68806.25447	5.23262545	16.48	75.9005402
5/4/2021	288.34	279.9417476	82042.82281	6.23928228	19.65	75.9001342
6/4/2021	282.62	274.3883495	80415.2826	6.11552826	19.26	75.8998977
7/4/2021	285.26	276.9514563	81166.455	6.1726455	19.44	75.9000081
8/4/2021	280.42	272.2524272	79789.30559	6.06793056	19.11	75.8998042
9/4/2021	265.01	257.2912621	75404.62119	5.73446212	18.06	75.9000137
10/4/2021	283.64	275.3786408	80705.5083	6.13755083	19.33	75.9005062
11/4/2021	239.77	232.7864078	68222.95771	5.18829577	16.34	75.9001092
12/4/2021	264.13	256.4368932	75154.23039	5.71542304	18	75.8999743
13/4/2021	263.39	255.7184466	74943.67448	5.69936745	17.95	75.9005501
14/4/2021	251.95	244.6116505	71688.59405	5.4518594	17.17	75.9000385
15/4/2021	301.25	292.4757282	85716.1697	6.51861697	20.53	75.9003687
16/4/2021	299.11	290.3980583	85107.2648	6.46672648	20.44	75.9661344
17/4/2021	300.81	292.0485437	85590.9743	6.50909743	20.5	75.9003519
18/4/2021	295.38	286.776699	84045.94924	6.39159492	20.13	75.9004127
19/4/2021	287.61	279.2330097	81835.11226	6.22351123	19.6	75.8998257
20/4/2021	261.19	253.5825243	74317.69748	5.65176975	17.8	75.9004552
21/4/2021	245.64	238.4854369	69893.17818	5.31531782	16.74	75.9000625
22/4/2021	212.18	206	60372.63697	4.5732637	14.64	76.1973615
23/4/2021	281.59	273.3883495	80122.21154	6.09322115	19.19	75.900139
24/4/2021	248.28	241.0485437	70644.35059	5.37243506	16.92	75.9001875
25/4/2021	298.9	290.1941748	85047.51245	6.46775124	20.37	75.900547
26/4/2021	286.43	278.0873786	81499.36096	6.1979361	19.52	75.9003364
27/4/2021	300.52	291.7669903	85508.45915	6.50284592	20.48	75.9000739
28/4/2021	300.08	291.3398058	85383.26375	6.49332638	20.45	75.9000567
29/4/2021	274.84	266.8349515	78201.60027	5.94716003	18.73	75.900144
30/4/2021	244.17	237.0582524	69474.91172	5.28349117	16.64	75.9003202

Anexo H. Grafica de predicción de Eficiencia

