

**Desarrollo de una Metodología para Auditorías URE en una Pyme del
Sector Productivo de Fundiciones de Acero y Otros Metales en el AMB**

Elkin Andrés Mesa Galeano
Maryori Liseth Silva Sepúlveda
Titulo a obtener: Ingenieros Mecánicos

Director de Tesis:
Ph.D,M.Sc, Ing. Jorge Luis Chacón Velasco

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Bucaramanga

2023

Tabla de Contenido

Introducción	8
1. Objetivos	10
1.1. Objetivo General	10
1.2. Objetivos Específicos.....	10
2. Planteamiento del Problema.....	11
3. Marco histórico	12
3.1. Marco histórico del uso racional de energía	12
3.2. Marco histórico de las auditorías del uso racional de la energía en Colombia.....	14
4. Marco Teórico.....	16
4.1. Auditoría	16
4.2. Auditorías para el uso racional de la energía (URE)	18
4.3. Objetivos de una auditoría energética.....	20
4.3.1. Identificar los principales problemas energéticos	21
4.3.2. Evaluar el consumo.....	21
4.3.3. Determinar rendimiento	21
4.3.4. Identificar el desperdicio de energía	21
4.3.5. Recomendaciones y soluciones.....	22
4.3.6. Metas Cuantificables.....	22
4.3.7. Optimización de la energía	22
4.3.8. Análisis de compra.....	22
4.3.9. Sostenibilidad y responsabilidad ambiental.....	23
4.3.10. Regulaciones y estándares	23
4.4. Tipos de auditorías de eficiencia energética	24
4.4.1. Nivel 0. Análisis energético.....	24
4.4.2. Nivel 1. "Walk-through analysis"	24
4.4.3. Nivel 2. Auditoría energética.....	24

4.4.4.	Nivel 3 Auditoría energética ESE.....	25
5.	Normatividad	25
5.1.	Sistema de gestión energética (SGE) ISO 50001	25
5.2.	Auditorías Energéticas según la norma ISO 50002	29
6.	Metodología.....	31
6.1.	Tipo de investigación.....	31
6.2.	Población.....	31
6.3.	Identificación de problemas de las PYMES dedicadas a la fundición de metales en Bucaramanga.....	32
6.4.	Análisis del problema de las PYMES dedicadas a la fundición de metales en Bucaramanga.....	32
6.4.1.	Árbol de efectos	33
6.4.2.	Árbol de causas	34
6.4.3.	Árbol de problemas.....	35
6.4.4.	Análisis de objetivos	36
7.	Desarrollo de la metodología para la auditoría URE en el AMB	37
7.1.	Proceso de la auditoría	38
7.1.1.	Planificación inicial	38
7.1.2.	Análisis energético.....	39
7.1.3.	Inspección in situ:	40
7.1.4.	Identificación de oportunidades	40
7.1.5.	Propuestas de mejoras:.....	40
7.1.6.	Seguimiento:	41
7.1.7.	Reporte final	41
7.1.8.	Capacitación de personal:	41
7.2.	Equipos necesarios para realizar la auditoría energética.	42
8.	Aplicación de la metodología	48
8.1.	Toma de datos	50

8.1.1.	Cálculos horno de inducción.....	52
8.1.2.	Costos de operación del horno de inducción	58
8.1.3.	Cálculo horno cubilote	59
8.1.4.	Costo de operación del horno cubilote.....	69
8.1.5.	Análisis comparativo de costos.....	69
9.	Conclusiones y recomendaciones para la empresa	70
10.	Aplicativo para el desarrollo de la auditoría URE en las PYMES del AMB.	71
11.	Conclusiones del Proyecto.....	82
	Referencias Bibliográficas	84

Tabla de Figuras

Figura 1: Línea del tiempo del uso racional de la energía.	13
Figura 2 : Línea del tiempo de las auditorías energéticas en Colombia.....	16
Figura 3: Objetivos de la auditoria URE.....	23
Figura 4: Flujo auditoría energética ISO 50002.	30
Figura 5: Árbol de efectos de la gestión inadecuada de energía de las PYMES del AMB.....	33
Figura 6: Árbol de causas de la gestión inadecuada de energía de las PYMES del AMB	35
Figura 7: Árbol de problemas de la gestión inadecuada de la energía en las PYMES del AMB	36
Figura 8: Árbol de problemas.	37
Figura 9: Diagrama de flujo de la auditoria.....	42
Figura 11: Analizador de redes marca Lovato.....	44
<i>Figura 12:</i> Multímetro marca Fluke.	44
Figura 13: Multímetro de pinza marca Megger.	45
Figura 14: Analizador de gases de combustión marca Kimo.....	45
Figura 15: Analizador de gases de combustión marca E-Instruments International.	46
Figura 16: Termohigrómetro marca Fluke.....	46
Figura 18: Anemómetro marca Fluke.	47
Figura 19: Cámara termográfica marca Fluke.	47
Figura 20: Esquema básico de distribución de la empresa Fundaciones Blanco.....	49
Figura 21: Horno de inducción.	52
Figura 22: Cálculo Cp del agua EES.	53
Figura 23: Sección cilíndrica horno de inducción.	54
Figura 24: Cálculo entalpía de los gases de fusión EES.	57
Figura 25: Cálculo entalpía del aire a temperatura ambiente ESS.....	57
Figura 26: Horno cubilote.....	59
Figura 27: Cálculo entalpía gases de combustión EES.....	66
Figura 28: Cálculo entalpía del aire a temperatura ambiente EES.....	66
Figura 29: Límites de emisión de la resolución 909 del 5 de junio del 2008	68
Figura 30: Información de datos generales del aplicativo en Excel.....	75
Figura 31: Lista de reunión de apertura del aplicativo en Excel.	75
Figura 32: Selección del tipo de auditoría aplicativo Excel.....	76
Figura 33: Selección tipo de auditoría del aplicativo en Excel.....	76
Figura 34: Inventario de equipos del aplicativo en Excel.....	77
Figura 35: Programación de mantenimiento en el aplicativo de Excel.	77
Figura 36: programación de mantenimiento en el aplicativo de Excel.....	77
Figura 36: programación de mantenimiento en el aplicativo de Excel.....	78
Figura 37: Análisis preliminar consumo eléctrico.....	78
Figura 38: Análisis preliminar de datos de consumo de combustibles fósiles.	79
<i>Figura 39:</i> Mediciones, cálculos y análisis comparativo.....	79
Figura 40: Inspección in situ.....	80
Figura 41: Entrevista y evaluación económica.	81
Figura 42: Reporte final y seguimiento.	81
Figura 43: Anexo 1 del aplicativo.	82

Lista de Tablas

Tabla 1: Comparativa de los tipos de auditoria	25
Tabla 2: Tabla PHVA	28
Tabla 3: Mediciones horno de inducción.....	50
Tabla 4: Datos de la operación actual del horno de inducción.....	51
Tabla 5: Mediciones del horno cubilote.....	60
Tabla 5: Mediciones del horno cubilote.....	60
Tabla 7: Matriz de selección de alternativas.....	73

Lista de Abreviaturas

SIGLA	SIGNIFICADO
PYME	Pequeñas y medianas empresas
AMB	Área metropolitana de Bucaramanga
\dot{Q}_{gases}	Calor perdido debido a gases
A	Área (m^2)
$\dot{Q}_{Combustible}$	Calor liberado gracias al combustible
u	Viscosidad
E E S	Software para el cálculo de propiedades térmicas
\dot{m}	Flujo másico (Kg/s)
Re	Reynolds
\dot{V}	Flujo volumétrico (m^3/S)
l	Longitud (m)
ΔT	Delta de la temperatura ($^{\circ}C$)
Δh	Delta de la entalpía (Kj/Kg)
p	Presión (Kpa)
Cp	Calor específico
$m_{consumida}$	Masa consumida de carbón (Kg)
$\Delta \epsilon$	Delta de energía
Nu	Número de Nusselt
V	Velocidad
LPM	Litros por minuto
Pr	# de prandtl
r	Radio (m)
K	Conductividad térmica
h	Coefficiente convectivo
PC	Poder calorífico (kcal/kg)
R	Resistencia térmica ($^{\circ}C/W$)
D	Diámetro
f	Factor de fricción
v	Velocidad (m/s)

Introducción

A través de los años, la eficiencia energética se ha convertido en un tema de gran importancia en todo el mundo debido al impacto que tiene en el medio ambiente y en la economía de empresas. La implementación de estrategias y herramientas que permitan mejorar el uso de la energía en los procesos productivos de las empresas es cada vez más necesario. En Colombia, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) representan una parte importante del tejido empresarial del país y se enfrentan a una serie de retos en términos de eficiencia energética y sostenibilidad (MinTrabajo,2019).

En particular, en el área metropolitana de Bucaramanga (AMB), las PYMES representan un papel fundamental en la economía de la región, ya que representan un porcentaje significativo de las empresas establecidas. Según el Observatorio Laboral para la Educación, la Industria y el Empleo de la Cámara de Comercio de Bucaramanga, las PYMES generan alrededor del 52% de los empleos en la región (Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2022). Sin embargo, muchas de estas empresas enfrentan limitaciones en términos de recursos técnicos y financieros para implementar estrategias de eficiencia energética. Además, la mayoría de las metodologías desarrolladas en la realización de auditorías energéticas están diseñadas para grandes empresas y no se adaptan a las características y necesidades específicas de las PYMES.

En este contexto, abordamos el principal objetivo de esta tesis que es desarrollar una metodología para la realización de auditorías energéticas en las PYMES del AMB

permitiendo que las empresas mejoren su competitividad en el mercado al reducir los costos energéticos haciendo uso eficiente de la misma.

La importancia de esta investigación radica en la ineficiencia de las auditorías energéticas las cuales no han logrado adaptarse a las características y necesidades presentes en las PYMES del AMB. Por esta razón la metodología de desarrollo de este trabajo busca adquirir el conocimiento sobre las variables relacionadas al consumo energético real para lograr su reducción tanto ambiental como económica, mejorando su competitividad en el área mercantil.

Finalmente, esta tesis contribuirá en desarrollar e implementar buenas prácticas energéticas en las PYMES del AMB generando un aporte a la sociedad sirviendo de modelo en otras regiones del país buscando un factor común para reducir el impacto ambiental.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Desarrollo de una metodología para auditorías URE basada en la norma ISO-50001 en una pyme del sector productivo de fundiciones de acero y otros metales en el AMB

1.2. Objetivos Específicos

- Investigar la normatividad nacional e internacional vigente para uso racional de la energía en pymes de los últimos dos años.
- Establecer una metodología de uso racional de energía enfocada en la recopilación de análisis, datos de consumo y cálculos de potencial ahorro por mantenimiento para una pyme del sector productivo de fundiciones de acero y otros metales del área metropolitana de Bucaramanga.
- Desarrollar una herramienta informática en Matlab u otros, para realizar auditorías URE para el sector productivo de PYMES.

2. Planteamiento del Problema

La implementación de auditorías URE (Uso racional y eficiente de la energía) en el sector productivo de las PYMES del AMB ha sido un factor necesario para mejorar la eficiencia en el consumo energético y reducción de costos generando mayor utilidad en la rentabilidad de los recursos, sin embargo, existen limitaciones como el interés económico, sesgo cultural, presión social entre otros que impiden la realización en su totalidad de las auditorías.

¿En la actualidad las PYMES del AMB realizan auditorías URE?

El problema radica en la falta de implementación de una metodología capaz de superar todas las limitaciones existentes y que busque adaptarse a las características y necesidades de las PYMES. Asimismo, la ausencia de una auditoría constante impide que estas empresas puedan surgir e identificar aquellas falencias presentes en el ahorro de energía y la excesiva emisión de gases de efecto invernadero.

En este sentido la aplicación de una auditoría URE constante y el buen uso de los recursos permite que las PYMES superen las limitaciones que han tenido hasta el momento desarrollando estrategias adecuadas correspondientes al sector productivo.

3. Marco histórico

3.1. Marco histórico del uso racional de energía

El marco histórico de la eficiencia energética ha evolucionado debido a varios factores que fueron claves como respuesta a diferentes sucesos ocurridos a lo largos de los años, incluyendo desarrollos tecnológicos, cambio de la conciencia ambiental y las reservas de recursos energéticos.

El comienzo de una demanda significativa de demanda de energía comienza en la revolución industrial. "En esta época la eficiencia energética no era una preocupación ya que no se dimensionaban los recursos y se creía que eran ilimitados por lo cual se centraban en aumentar producción" (Smith, 2005).

A principios del siglo XX llegó la primera crisis energética debido a la primera guerra mundial debido a que los recursos iban destinada a la guerra creando por primera vez una conciencia sobre cuál era la verdadera importación de la gestión y eficiencia de los recursos naturales.

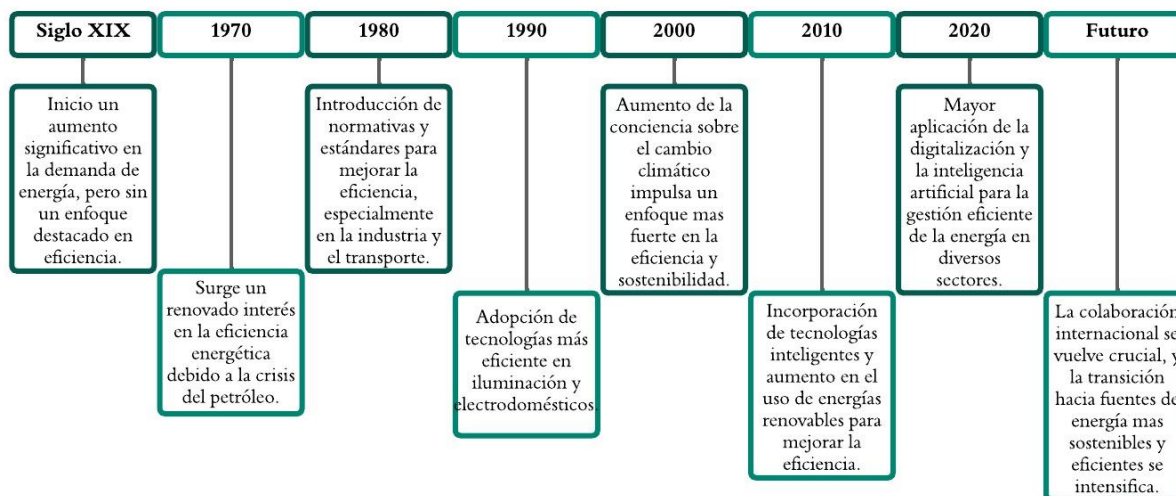
La crisis del petróleo en la década de los 70 fue uno de los pilares importantes para la conciencia y la percepción de la vulnerabilidad de la dependencia del petrolero, creando un interés en la eficiencia energética llevando a reducir el consumo de energía.

La implementación de estándares y normativas ha sido fundamental para este proceso. "La introducción de estándares de eficiencia energética para electrodomésticos y vehículos ha sido crucial en la mejora de la eficiencia a nivel mundial" (IEA, 2020). La conciencia ambiental ha llevado a un mayor interés a las energías renovables, esta preocupación por el cambio climático

impulso una transición hacia estas nuevas fuentes de energías renovables como parte de estrategias globales.

Los avances tecnológicos recientes están transformando la eficiencia energética. "La aplicación de tecnologías inteligentes y la integración de la IA están optimizando el consumo de energía en diversos sectores" (IRENA, 2022). La cooperación internacional y colaboración entre países abordan diferentes desafíos para compartir diferentes estrategias para avanzar en conjunto la eficiencia energética mundial. En la Figura 1. se observa la línea del tiempo de los pilares más relevantes para la creación de conciencia energética.

Figura 1: Línea del tiempo del uso racional de la energía.



Fuente: Propia.

Entrando en materia de eficiencia energética, las empresas dedicadas a la fundición de metales han tenido igualmente avances desde el siglo XXI, cuando en estas se priorizaba la producción de metales y la energía se usaba sin enfoque alguno, posteriormente en las décadas del 70 y 80 donde ya existe una conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética en la industria estas

empresas comenzaron a explorar otras formas de reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la eficiencia del uso de la energía. Se implementaron normas y estándares estrictos impulsando a las fundidoras a adoptar prácticas eficientes para cumplir con las regulaciones y reducir las emisiones de gases contaminantes.

El concepto de auditorías de uso racional de la energía (URE) se desarrolló en la década del 70 en respuesta a la creciente conciencia sobre la necesidad de llevar una mejor gestión a los recursos energéticos. La administración de energía de los estados unidos establece el programa de gestión de energía para promover prácticas más eficientes; "Diferentes organizaciones como la agencia internacional de energía (IEA) promovieron prácticas de uso racional de energía y realización de auditorías como una herramienta clave para lograr la eficiencia" (IEA 1985).

3.2. Marco histórico de las auditorías del uso racional de la energía en Colombia

El desarrollo y la implementación de una auditoría de eficiencia energética en Colombia ha evolucionado al igual que el resto de los países dando una respuesta al panorama energético mundial, creando una conciencia sobre la importancia de la gestión eficiente de la energía.

En la década del 90, Colombia inició un proceso de apertura del sector energético con la ayuda del sector privado lo cual generó un cambio en la estructura energética que se llevaba habitualmente y crea un aumento de interés y necesidad de optimizar el uso de la energía en las diferentes industrias incluidas las empresas dedicadas a la fundición de metales.

Finalmente, en el año 2001 se crea el primer programa en el país del uso racional de la energía (PROURE) que tenía como fin establecer unos lineamientos para la realización de las auditorías en el sector industrial (PROURE, 2001). Posteriormente en el año 2003 el gobierno nacional crea un Fondo Nacional de Eficiencia Energética (FENOEE) como parte de los esfuerzos para promover el uso racional de la energía en el país "El FENOEE ha sido clave en el financiamiento de proyectos y programas de eficiencia energética del país" (FENOEE, 2003)

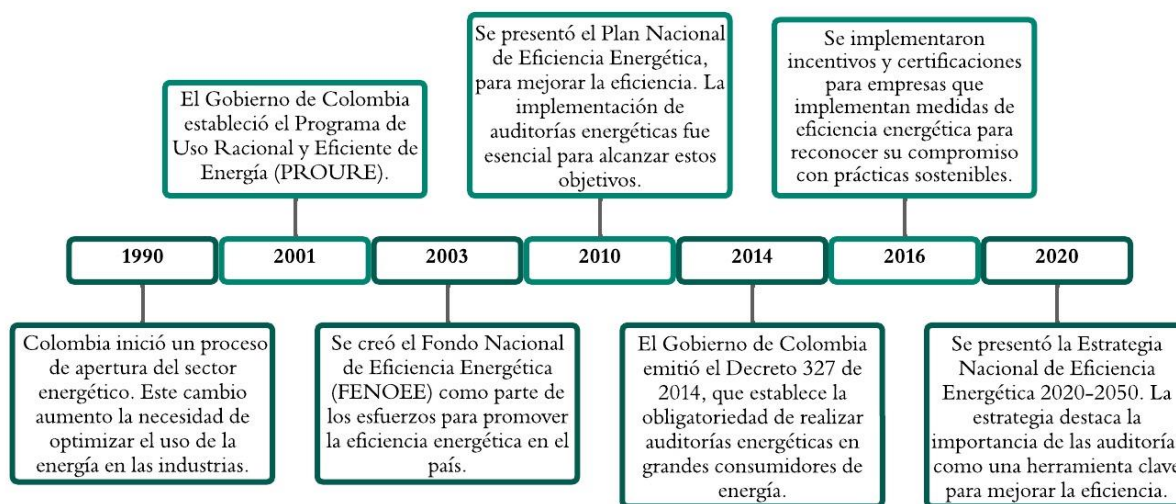
La implementación de auditorías energéticas se consideró esencial para poder lograr los objetivos que buscaba el Plan Nacional de Eficiencia Energética estableciendo metas y estrategias para la optimización en todos los sectores de la industria. A finales del año 2014 el gobierno nacional emite el decreto 327 del 2014 donde busca la reglamentación de la auditoría energética obligatoria inicialmente en las empresas que presentaran un mayor consumo de energía definiendo criterios y procesos para la implementación de estas. (Ministerio de Minas y Energías, 2014)

Para promover el uso de las auditorías en las empresas que aún no estaban obligadas a realizarlas el ministerio de minas y energías crea las certificaciones e incentiva a estas como un mecanismo para reconocer y destacar las empresas que estuvieran comprometidas con la problemática global (Ministerio de Minas y Energías, 2016).

A lo largo de este proceso el país avanzó significativamente en el establecimiento de políticas y programas de fomentan la eficiencia energética por eso en el año 2020 presentó una estrategia nacional de eficiencia energética 2020-2050 donde busca consolidar acciones y proyectos destacando la importancia de las auditorías como una herramienta clave para mejorar, lograr

ahorros y reducir la huella ambiental del país. En la Figura 2. se muestra la línea del tiempo de las auditorías energéticas en Colombia.

Figura 2 :Línea del tiempo de las auditorías energéticas en Colombia



Fuente: propia.

4. Marco Teórico

En este apartado se exponen los argumentos teóricos que sustentan este trabajo, entre los aportes y definiciones se encuentran la de auditoría energética y posteriormente la relacionada al uso racional y eficiente de energía.

4.1. Auditoría

El término auditoría se refiere a un proceso sistemático de recolección y evaluación objetiva de evidencia relacionada con informes sobre actividades económicas y otras circunstancias directamente relacionadas con las actividades realizadas por una organización pública o privada. El propósito de este proceso es verificar las evidencias en las que se basa el contenido de la

información, el grado de exactitud del contenido de la información y si el informe fue elaborado de acuerdo con los principios establecidos para el caso. Este entonces, La auditoría es un proceso que combina varias funciones necesarias para una completa y correcta ejecución. Este es un proceso sistemático, donde la evidencia se recopila y evalúa objetivamente, y esta evidencia consta de una amplia gama de información y datos para ayudar a preparar la evaluación final o informe. El papel del auditor en este proceso es determinar el grado de precisión entre los eventos reales y los informes preparados después de que esos eventos hayan ocurrido. (Sánchez, 2005).

Auditar consiste en someter a un escrutinio, llevado a cabo por un profesional experto y debidamente calificado, diversos procedimientos, actividades, informes, procesos y similares, con el propósito de asegurar con un alto grado de certeza que han sido elaborados o desarrollados de manera correcta (Biler, 2017).

En relación a los sistemas de gestión que hacen parte de la auditoría, estos se refieren a la gestión eficiente de los recursos tanto financieros, físicos como de capital humano, para el óptimo funcionamiento de la empresa, entre los factores físicos se encuentra el eficiente uso de la energía para la disminución de los costos y aporte al mejoramiento del medio ambiente (Vilar, 1999).

La auditoría de gestión proporcionará a la dirección de la empresa los medios necesarios para alcanzar una gestión más eficiente. Al descubrir irregularidad y áreas de mejora en los procesos, se podrá perseguir la rentabilidad y el desarrollo empresarial. Además, esta auditoría brindará una comprensión precisa del estado real de la administración y la situación de la empresa, sirviendo como herramienta para asesorar a la gerencia y orientar hacia la adaptación necesaria para alcanzar las metas en un entorno en constante cambio (Arriaga Ramírez, 2014).

Realizar una auditoría ofrece una serie de beneficios, como la identificación de riesgos y vulnerabilidades en la empresa, la generación de confianza entre directivos, empleados y clientes, la prevención de errores y fraudes, y el impulso de una mejora continua en la compañía (Borghi, 2010).

4.2. Auditorías para el uso racional de la energía (URE)

Para promover un uso más eficiente de la energía, se emplean auditorías energéticas, las cuales desempeñan un papel crucial en la identificación de oportunidades para ahorrar energía en las empresas. Diversas metodologías, como la norma ISO 50001 y las directrices de la Agencia Internacional de la Energía, se utilizan para llevar a cabo estas auditorías.

En la sociedad contemporánea, mantener un nivel de vida confortable conlleva un elevado consumo energético, lo cual plantea el desafío real de buscar un desarrollo sostenible. Este desarrollo implica mantener el nivel de actividad, progreso y transformación, pero adaptando las exigencias a los recursos disponibles y suprimiendo el despilfarro energético (Martínez, 2012).

En Colombia, los "modelos de gestión energética" han surgido de forma orgánica o se han adoptado desde modelos externos. Se han centrado principalmente en el análisis de eficiencia energética, seguimiento de indicadores energéticos, transición a fuentes primarias de energía, gestión de negociaciones, contratos energéticos y cambios tecnológicos. (Martínez, 2012).

Existen ejemplos en Colombia de modelos de gestión energética aplicados en el sector productivo, destacándose:

- Guía de buenas prácticas para el uso racional de la energía en el sector de las pequeñas y medianas empresas (PROURE, 2021).
- Modelo de control del consumo energético.
- Modelo de gestión integral de la eficiencia energética en ambientes competitivos.
- Modelo de mejora constante de la eficiencia energética.

Con relación al URE (Uso racional de la energía), se trata del uso óptimo de la energía en cada cadena energética, partiendo de la selección de la fuente de energía, producción, conversión, transporte, distribución y consumo, incluyendo la reutilización cuando sea posible. Desarrollo sostenible. La eficiencia energética ha sido reconocida como una estrategia clave para resolver los tres desafíos energéticos: cambio climático, seguridad energética y desarrollo económico, con un costo mínimo para la sociedad.

Es decir que el uso eficiente de la energía se refiere al contexto del desarrollo sostenible, utilizar la energía de forma que se alcance la máxima eficiencia energética y se respete la situación actual de las actividades de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de energía primaria o distintas formas respetando los recursos del medio ambiente y recursos naturales renovables. (IGAC, 2001).

Las auditorías URE (Usos Racionales de la Energía) se centran en la identificación y aplicación de medidas de ahorro de energía en las empresas. Estas auditorías son especialmente relevantes para las pymes, ya que estas empresas suelen tener menos recursos para implementar medidas de eficiencia energética. (García, J. 2021).

Existen varias metodologías para realizar auditorías URE en las empresas, algunas de las cuales se han desarrollado específicamente para las PYMES. Por ejemplo, la metodología *PymeEnergetic* desarrollada en España, y la metodología de la Organización de Estados Americanos (OEA). (González, L.2021).

Este trabajo tiene como población objeto el sector productivo de las PYMES, el cual es un área importante para la implementación de medidas de eficiencia energética, ya que estas empresas representan una parte significativa del consumo energético y tienen un gran potencial de ahorro. Sin embargo, las PYMES a menudo enfrentan barreras para implementar medidas de eficiencia energética, tales como la falta de recursos y conocimientos técnicos. (García, J.2021)

4.3. Objetivos de una auditoría energética

Las auditorías de eficiencia energética son un proceso muy detallado creado para evaluar el mejoramiento y rendimiento energético de una empresa u organización, donde los principales objetivos son identificar esas oportunidades para mejorar la huella de carbono por medio del uso de la energía y reducir costos.

Estos son los principales objetivos de una auditoría energética

4.3.1. Identificar los principales problemas energéticos

Inicialmente el objetivo principal es como se puede identificar mediante diferentes procesos de cuales son estas máquinas u áreas donde se está llevando un inadecuado manejo de la energía, principalmente esto va ligado a sistemas obsoletos, perdidas de calor, equipos mal calibrados, etc.; llevando un sistema de puntuación para separarlos en niveles de prioridad.

4.3.2. Evaluar el consumo

Tener una medición y evaluación adecuada del consumo actual de energía es fundamental ya que nos brinda un punto de partida en este proceso. Así mismo se puede hacer una comparación con productos similares o empresas del mismo rubro en los cuales se pueden encontrar patrones de consumo y tener una posibilidad de mejora. Así mismo resulta también muy importante tener los registros mensuales del consumo que llevan estas áreas o equipos para saber cuáles pueden ser la causa raíz de los problemas de perdidas.

4.3.3. Determinar rendimiento

Definir y evaluar todos los sistemas de equipo que existan en la empresa a evaluar como sistemas de refrigeración, sistemas energéticos, iluminación, maquinaria, hornos entre otros, con el fin de reestructurar estos sistemas identificando oportunidades de ahorro ya sea por mantenimiento, actualizaciones o reemplazos de los equipos que tengan un rendimiento deficiente.

4.3.4. Identificar el desperdicio de energía

Cuantificar las fuentes de energía es de gran importancia ya que le permite dar prioridad a equipos que sean más esenciales para aplicarle medidas correctivas. Esto puede incluir fugas de calor, pérdidas de proceso de transmisión o dispositivos en espera que consumen energía innecesaria.

4.3.5. Recomendaciones y soluciones

Proponer diversas soluciones para mejorar la eficacia energética. Estas recomendaciones pueden ser amplias soluciones como la implementación de nuevas tecnologías que estén actualizadas a nivel internacional, cambios operativos, actualizaciones de sistemas de mantenimientos, capacitación de personal, entre otros.

4.3.6. Metas Cuantificables

Establecer una meta cuantificable le brinda al usuario un panorama realista para mejorar la eficiencia energética, logrando una referencia para medir el éxito de las acciones implementadas y para tener un seguimiento continuo del rendimiento energético

4.3.7. Optimización de la energía

Proporciona orientación sobre una práctica eficiente estableciendo políticas, manejo de capacitación de personal y procedimiento correctos y efectivos.

4.3.8. Análisis de compra

Calcular el costo de las mejoras propuestas por el auditor evaluando el impacto económico y financiero de las medidas dando niveles de priorización. Así mismo calcular la tasa de retorno

(ROI) y ahorro que se pueda tener

4.3.9. Sostenibilidad y responsabilidad ambiental

Apoyar los objetivos más amplios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental reduciendo nuestra huella de carbono y reduciendo el impacto ambiental en el consumo de energía.

4.3.10. Regulaciones y estándares

Hay que asegurar que la organización cumpla con las regulaciones locales, nacionales e internacionales de eficiencia energética. El cumplimiento de las normas y requisitos legales puede evitar sanciones y mejorar la reputación de una organización. En la Figura 3. observamos el orden de los objetivos de una auditoría URE.

Figura 3: Objetivos de la auditoría URE



Fuente: Propia

4.4. Tipos de auditorías de eficiencia energética

Las auditorías energéticas tienen diferentes tipos de clasificación de acuerdo a la profundidad del estudio que se adecue a las necesidades del cliente o el sistema de gestión que se vaya a emplear

4.4.1. Nivel 0. Análisis energético

En este tipo de auditoría se revisan los consumos energéticos de acuerdo a medidores de energía, humedad, calor; teniendo un panorama general de cuál es el consumo real de los diferentes sistemas. Un ejemplo de este tipo de auditoría es las realizadas para la certificación RETIE donde solo consiste en determinar las fallas y las medidas de corrección con el fin de estandarizar estos equipos.

4.4.2. Nivel 1. "Walk-though analysis"

Se realiza un diagnóstico energético basado en un análisis de las diferentes mediciones obtenidas de mínimo un año incluyendo un chek list donde se vea el comportamiento de estas; estas auditorías se realizan para identificar medidas de ahorro con un presupuesto limitado.

4.4.3. Nivel 2. Auditoría energética

El nivel 2 de auditoría energética brinda al usuario final un reporte y análisis detallado del uso de energía de la empresa ofreciendo un reporte de los principales consumos identificando cuales serían las medidas de ahorro, elaborando un balance energético, análisis de costos y beneficios

obtenidos

4.4.4. Nivel 3 Auditoría energética ESE

Esta auditoría es destinada a proyectos que buscan un ahorro significativo. Así mismo con una inversión grande. Se proporciona un estudio al detalle de las mejoras obtenidas, beneficios financieros y presupuestos de cambio, mantenimiento o reparación de equipos e instalaciones. En la tabla 1 se muestran los alcances u objetivos de los 4 tipos de auditorías energéticas.

Tabla 1: Comparativa de los tipos de auditoria

	Nivel 0. Análisis energético	Nivel 1. Walk-through analysis	Nivel 2. Auditoria energética	Nivel 3. Auditoria energética ESE
Revisión de los consumos energéticos de acuerdo con los medidores de energía para obtener un panorama general de los equipos, y así determinar las falencias y medidas de corrección.	X	X	X	X
Diagnóstico energético basado en análisis de diferentes mediciones obtenidas de mínimo un año, se realizan para identificar medidas de ahorro con presupuesto limitado.		X	X	X
Brinda un reporte final y análisis del uso de energía de la empresa, identificando cuales serian las medidas de ahorro, balance energético y análisis de costos y beneficios.			X	X
Destinadas a proyectos que buscan ahorro significativo, se le proporciona un estudio a detalle de las mejoras, beneficios, cambios, mantenimiento e intalación de los equipos.				X

5. Normatividad

5.1. Sistema de gestión energética (SGE) ISO 50001

La creciente conciencia ambiental y la necesidad de abordar los desafíos energéticos han llevado a la implementación de normas y estándares internacionales en las organizaciones. La Norma ISO 50001, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en 2011, se erige como un marco fundamental para la gestión de la energía. Este ensayo examinará la evolución, estructura, beneficios y el impacto de la norma ISO 50001 en la eficiencia energética y la sostenibilidad empresarial, apoyándose en diversas fuentes para respaldar sus afirmaciones.

La norma ISO 50001 surge como una respuesta a la necesidad global de mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de carbono. Según el informe de la ISO, "la norma se desarrolló en el contexto de la creciente demanda de soluciones para abordar los problemas energéticos y ambientales" (ISO, 2011).

El marco estructural de la ISO 50001 sigue el ciclo PDCA, un enfoque que enfatiza la mejora continua. Esta estructura garantiza que la implementación del sistema de gestión de la energía (SGE) sea sistemática y cíclica, abarcando elementos cruciales desde el liderazgo hasta la revisión por la dirección (ISO, 2011).}

La adopción de la norma ISO 50001 conlleva una serie de beneficios significativos. Según un estudio publicado en la revista "Energy Policy", "la implementación de la ISO 50001 ha demostrado una reducción significativa en el consumo de energía y los costos operativos en las organizaciones" (Meng et al., 2017). Además, el informe sugiere que esta norma también tiene un impacto positivo en la imagen corporativa y la competitividad de las empresas.

La norma ISO 50001 cumple un papel crucial en mejorar la eficiencia energética al brindar un panorama sistemático para reconocer y abordar ineficiencias. Según el "Journal of Cleaner Production", "la norma ha demostrado ser efectiva para mejorar la eficiencia energética en una variedad de sectores industriales" (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). La planificación energética y la monitorización constante permiten a las organizaciones optimizar el uso de la energía.

La norma ISO 50001 va más allá de la eficiencia energética y se posiciona como un catalizador para la sostenibilidad empresarial. Según la revista "International Journal of Energy and Environmental Engineering", "la norma fomenta una gestión más eficiente de los recursos energéticos, contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo" (Wang et al., 2020). La mejora continúa incorporada en el sistema garantiza que las organizaciones evolucionen hacia modelos más sostenibles a lo largo del tiempo.

La implementación exitosa de la norma ISO 50001 requiere un compromiso integral. Investigaciones realizadas por la revista "International Journal of Sustainable Energy Planning and Management" destacan la importancia de la formación del personal y la adaptabilidad a cambios en el entorno operativo (Breukers et al., 2017). Estos elementos son clave para una implementación práctica y exitosa.

La norma ISO 50001 emerge como un estándar clave para la gestión de la energía, impactando positivamente la eficiencia energética y la sostenibilidad empresarial. Su estructura sistemática, beneficios probados y enfoque en la mejora continua la convierten en una herramienta valiosa para las organizaciones que buscan no solo reducir costos operativos sino también contribuir al bienestar del planeta.

Los sistemas de gestión energética (SGE) se constituyen en función de la mejora al cual fue propuesto mediante la norma ISO 50001 que se describen como PHVA (Planificar, hacer, verificar, actuar). La Tabla 2. describe cada uno de estos elementos.

Tabla 2: Tabla PHVA

PLANIFICAR	Se parte de la identificación de los aspectos energéticos y de las normativas en materia de energía eléctrica para plantear los objetivos de un Sistema De Gestión De La Energía (SGE).
HACER	Para garantizar el éxito de un SGE se deben plantear unas tareas tales como: Asignar recurso humano capaz de asumir responsabilidades y roles de importancia; ofrecer formación técnica al personal involucrado; mejorar los medios de comunicación interna y externa para ampliar la conciencia de la organización dentro del proceso que se esta llevando a cabo; tener registro de las actividades realizadas y aplicar los controles de operación.
VERIFICAR	El SEG requiere una constante evaluación, esto se puede realizar mediante medición de indicadores que permitan determinar si lo planeado se esta ejecutando. Se deben gestionar las no conformidades, controlar la documentación y mantenerla actualizada. También realizar auditorias energéticas.
ACTUAR	Ejecutar los cambios potenciales identificados durante las primeras etapas del SGE, deber ser un compromiso de los directivos para poder obtener los objetivos planeados.

Fuente: Propia

La ISO 50001 es una norma internacional, se basa en la norma UNE-EN 16001 de 2010 la cual es la versión española de la norma EN de 2009, las cuales adoptaron los siguientes principios u objetivos

- Inducir al mejor uso de los activos de una empresa que requieran consumo de energía.
- Facilitar la interpretación sobre la gestión de los recursos energéticos.
- Fortalecer, fomentar e incentivar las mejores prácticas en el uso de la energía.

- Priorizar la aplicabilidad de las nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética.
- Establecer parámetros para la aplicación de prácticas en toda la cadena de suministro de una empresa.
- Promover la aplicabilidad de los sistemas de gestión energética (SGE) para reducir la producción y el impacto de los gases de efecto invernadero.
- Trabajar en paralelo con otros sistemas de control (ISO 50001, 2014).

Aplicar adecuadamente la norma ISO 50001 permitirá:

- Propone y desarrolla políticas para el uso racional, adecuado y eficiente de la energía.
- Identificar objetivos regulares consistentes con las políticas propuestas.
- Identificar puntos críticos de consumo energético, medirlos y monitorizar el consumo.
- Monitorear las políticas implementadas para determinar si se han cumplido los objetivos.
- Proporcionar retroalimentación continua sobre los sistemas de gestión energética para mejorarlos. (ISO 50001, 2014).

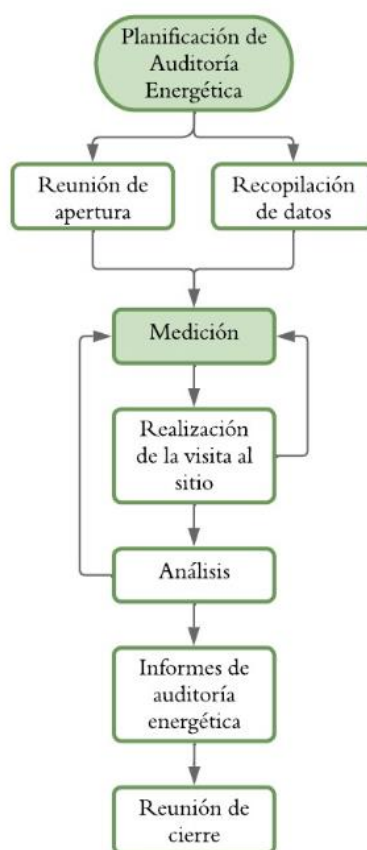
5.2. Auditorías Energéticas según la norma ISO 50002

La norma ISO 50002 se crea con el fin de poder identificar cuales pueden ser las oportunidades que se pueden encontrar en la empresa, compañía o sector que se esté auditando, la auditoría energética comprende un análisis al detalle de todos los componentes energéticos asociados a esta empresa, en este caso existe un conducto regular para su respectiva planeación en la cual, la priorización de encontrar oportunidades de mejora en eficiencia energética. Así mismo disminuir la pérdida de energía y obtener los beneficios medioambientales exigidos por la norma.

Las principales ventajas de una auditoría energética basada en esta norma se ven reflejadas en el apoyo que se visibiliza a la norma ISO 50001, más sin embargo sin la realización de esta norma no se podría implementar adecuadamente una gestión de resultados ya que esta se basa en una cronología simple.

En la Figura 4. se observa el flujo que debe llevar una auditoría energética basándose en la norma ISO 50002, la cual maneja cierres y aperturas como una auditoría común, sin embargo, su enfoque principal es hacia las mediciones de los procesos productivos de la compañía a auditar (ISO 50002, 2014)

Figura 4: Flujo auditoría energética ISO 50002.



Fuente: Propia.

6. Metodología

Esta investigación tiene un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) de tipo explicativo la cual buscan encontrar las razones o causas que ocasionan ciertos fenómenos. Su objetivo último es explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste. Su realización supone el ánimo de contribuir al desarrollo del conocimiento científico (Álvarez, Bedoya y Henao, 2017).

Se empleó una revisión documental o bibliográfica la cual se ha define como la operación documental de recuperar un conjunto de documentos o referencias bibliográficas que se publican en el mundo sobre un tema, un autor, una publicación o un trabajo específico, es considerada también como un estudio detallado, selectivo y crítico que integra la información esencial en una perspectiva unitaria y de conjunto (Guirao, 2015).

6.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación a implementar es analítico, por lo tanto, se requiere evaluar el excesivo consumo energético en las PYMES del AMB mediante la implantación de auditorías (URE), asimismo estudiar las variaciones reales en el gasto y costo de energía con el fin de mejorar la eficiencia en los procesos energéticos.

Esta investigación se desarrollará en el área de ciencias térmicas, considerando la normatividad nacional. Efectuando los conocimientos que permitan realizar el cumplimiento del proyecto en su totalidad.

6.2. Población

Para el desarrollo de las auditorías URE correspondientes a la metodología a desarrollar en las PYMES del AMB, es necesario implementar convenios verbales con las diferentes empresas en búsqueda de su aceptación para cumplir con el objetivo de este proyecto de investigación, en la actualidad se está realizando la inspección del sector productivo en el cual se van a desempeñar las funciones de auditores.

6.3. Identificación de problemas de las PYMES dedicadas a la fundición de metales en Bucaramanga

Las pequeñas y medianas empresas de Bucaramanga ya tienen conciencia ambiental, pero a pesar de tener un panorama claro de la realidad de la huella de carbono y el cambio climático en el mundo y querer ser parte de la solución no realizan la gestión de sus recursos energéticos principalmente porque desconocen los beneficios de implementar sistemas de ahorro o generación de energía renovables. Seguido de esto las empresas que prestan el servicio de auditorías energéticas, inspecciones y propuestas de alternativas para la gestión de la energía tienen un enfoque en las grandes empresas debido a que estas tienen altos presupuestos destinados únicamente al manejo de la gestión de la energética.

6.4. Análisis del problema de las PYMES dedicadas a la fundición de metales en Bucaramanga

Ya previamente teniendo claro cuáles son las problemáticas de las PYMES de fundición de metales en el AMB se procede a realizar un detallado análisis con el fin de tener claro cuáles son estos problemas y proponer alternativas de solución.

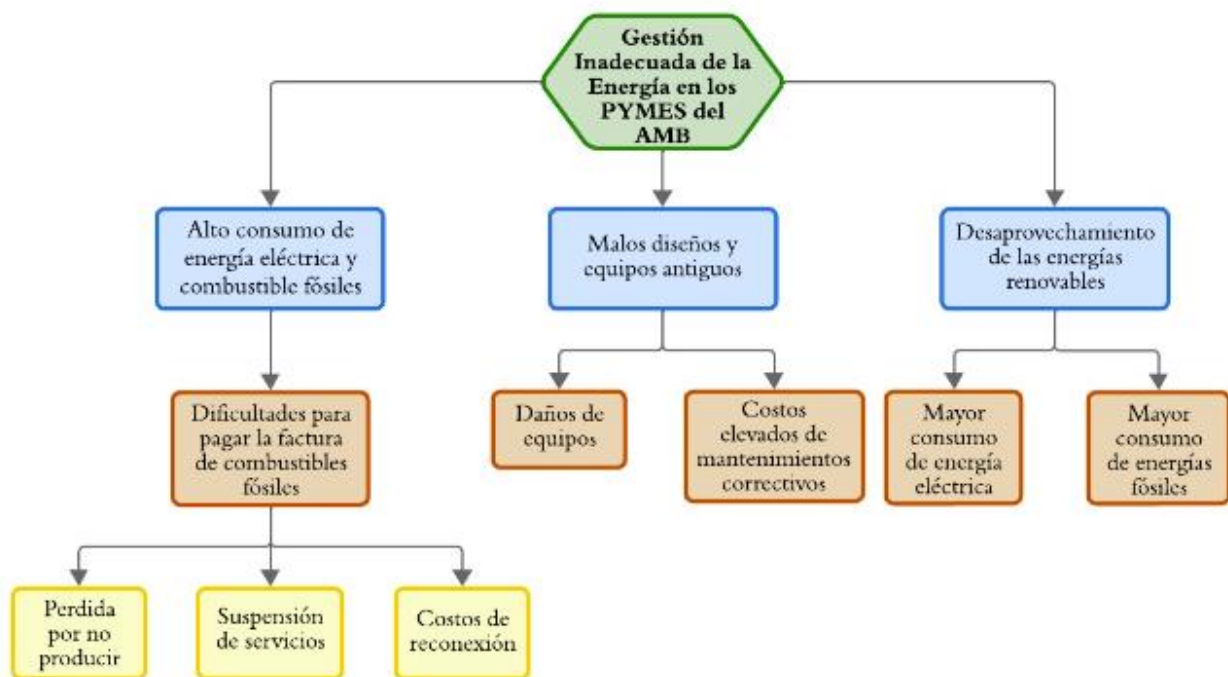
El problema central es la gestión inadecuada de la energía en las PYMES dedicadas a la fundición de metales en el área metropolitana de Bucaramanga (AMB) lo que produce consumos elevados

de energía o el desaprovechamiento de energías renovables afectando directamente a los costos de las empresas y un retroceso en materia del cambio climático.

6.4.1. Árbol de efectos

En la Figura 5. se plasman cuáles son los efectos a estos problemas mencionados anteriormente y poder determinar sus influencias en otros efectos, con este diagrama podemos comprender como se impactan y dan origen a otros problemas.

Figura 5: Árbol de efectos de la gestión inadecuada de energía de las PYMES del AMB



Fuente: Propia

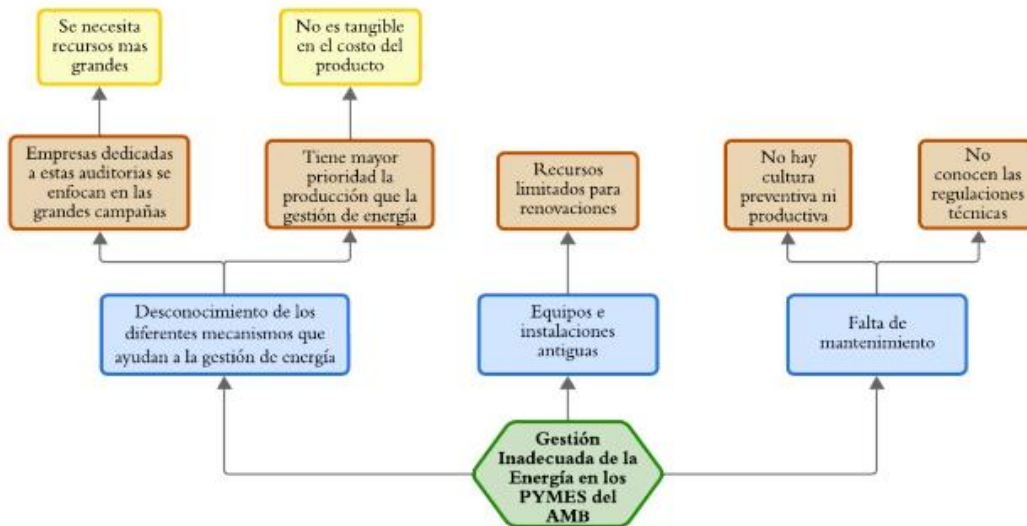
En los principales efectos de la mala gestión de energía en las PYMES del área metropolitana de Bucaramanga, se encuentra el alto consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles como el carbón, que origina que las PYMES tengan dificultades económicas para poder pagar el servicio

de energía y a su vez disponer de recursos para la compra de los combustibles fósiles originando pérdidas de producción, costos de reconexión y suspensión del servicio eléctrico. Por otra parte, los malos diseños y equipos viejos igualmente son las causales de que los equipo se dañen frecuentemente y solo se les aplique mantenimiento correctivo y por último el desaprovechamiento de las nuevas prácticas de energía renovable causan un mayor consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles.

6.4.2. Árbol de causas

En la Figura 6. el árbol de causas, se encuentran cuáles son esos diferentes motivos que originan el problema central que es la gestión inadecuada de energía en las PYMES del área metropolitana de Bucaramanga (AMB) en la cual destacan la falta de mantenimientos de las cuales principalmente cuando existen son únicamente de tipo correctivo debido a que no existe una cultura del mantenimiento preventivo y predictivo.

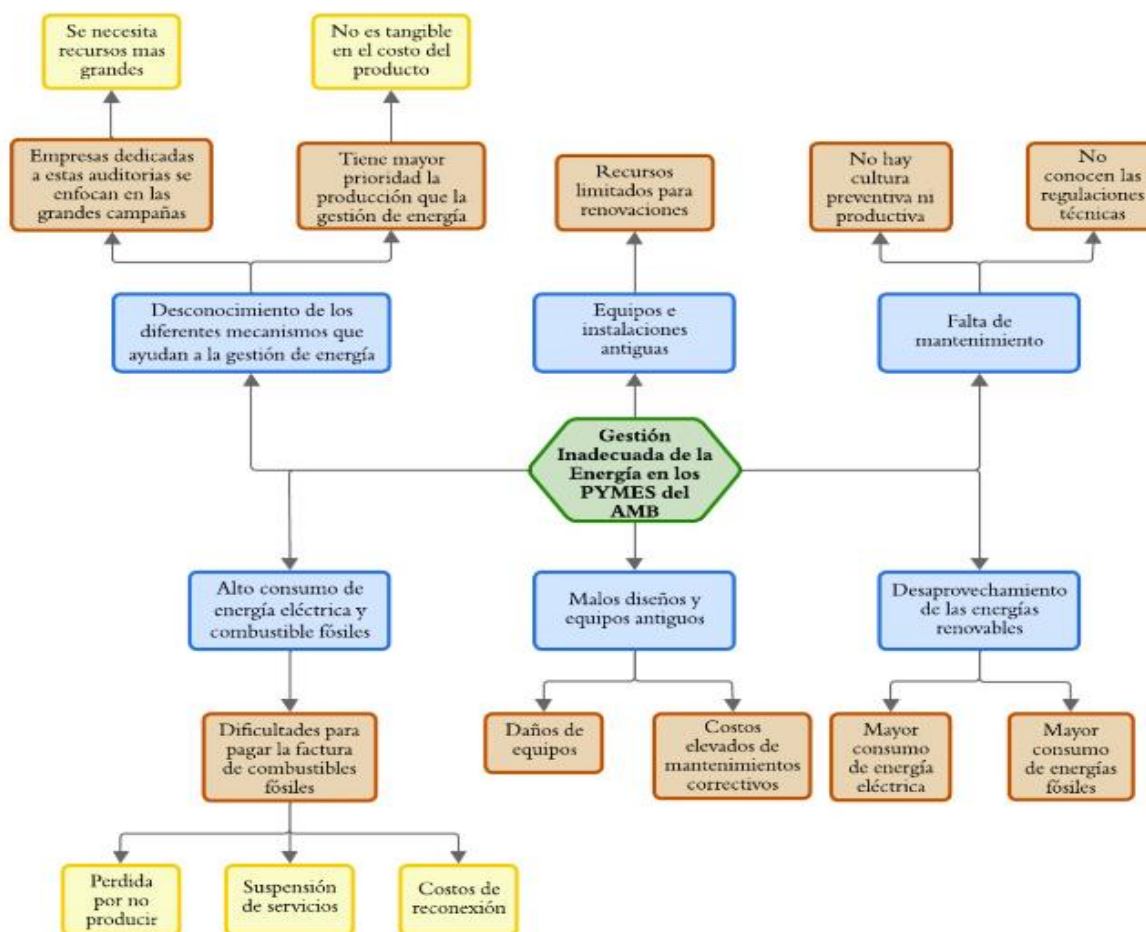
Así mismo el desconocimiento de los diferentes mecanismos que ayudan a la gestión de la energía y estos mecanismos de igual forma centran su foco de atención a empresas consolidadas ya que manejan un presupuesto alto a comparación a las pequeñas y medianas empresas del AMB. Las PYMES principalmente tienen equipos viejos al igual que sus instalaciones ya que manejan recursos limitados para la renovación de estas. En la Figura 6. se observa el árbol de causas de la gestión inadecuada de energía en las PYMES del AMB.

Figura 6: Árbol de causas de la gestión inadecuada de energía de las PYMES del AMB*Fuente: Propia*

6.4.3. Árbol de problemas

Ya teniendo identificadas las causas y efectos de la gestión inadecuada de energía en las PYMES del área metropolitana de Bucaramanga en la Figura 7. se presenta el esquema del resumen de la problemática planteada.

Figura 7: Árbol de problemas de la gestión inadecuada de la energía en las PYMES del AMB



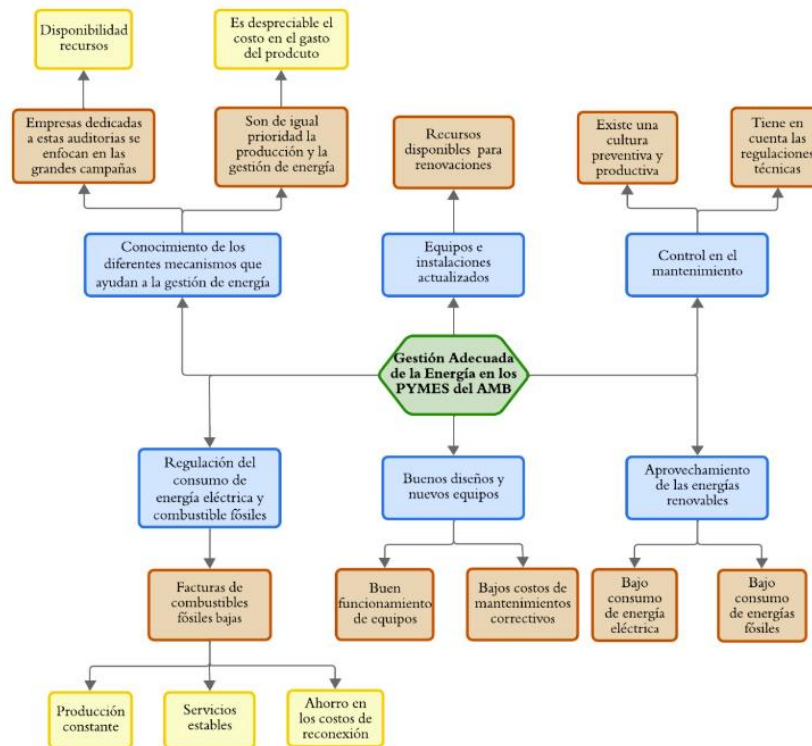
Fuente: Propia

6.4.4. Análisis de objetivos

Una vez identificadas cuales son los problemas como se ilustra en la Figura 7. se realiza un cambio a condiciones positivas para ver cuáles son los alcances que tiene la auditoría siguiendo de igual forma los parámetros de la norma ISO 50001 y ISO 50002. En la Figura 8. se cambiaron todas las condiciones negativas de la Figura 7. y se convirtieron positivamente, permitiendo tener un buen

diseño de la metodología de la auditoría, teniendo claro cuáles son los principales problemas y cuáles son esos aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta para el éxito de esta.

Figura 8: Árbol de problemas.



Fuente: Propia.

7. Desarrollo de la metodología para la auditoría URE en el AMB

Las auditorías de eficiencia energética en la pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Bucaramanga juegan un papel muy importante para reconocer cuales pueden ser esas oportunidades de ahorro de energía para mejorar la sostenibilidad de estas, debido a esto se crea una metodología principalmente basada en la recopilación de análisis, datos de consumo y cálculos de potencial ahorro por mantenimiento.

Con el análisis del árbol de causas, efectos y problemáticas identificamos cuales son los

objetivos y áreas principales donde se debe llevar a cabo las auditorías en las PYMES dedicadas a la fundición del área metropolitana de Bucaramanga, este tipo de metodología propuesto fue en base al tipo de equipos, instalaciones y procesos que llevan las empresas de este rubro en el AMB. El diseño de esta metodología va enfocada a buscar un ahorro a estas empresas, así mismo diseñadas para que tengan un bajo costo y sea más accesible la adquisición de una auditoría de este tipo y se puedan beneficiar a largo plazo. El tipo de auditoría seleccionada para este sector fue una auditoría de nivel 3 propuesta por la norma NTC ISO 50001 complementada de la norma ISO 50002 con unos cambios propuestos por los autores para su adaptación a las empresas de fundición del área metropolitana de Bucaramanga (AMB). La necesidad de generar unos criterios para la ejecución de esta auditoría se debe a que actualmente este tipo de auditorías se realizan en todos los sectores económicos bajo un mismo modelo y no tienen algunos factores que son muy puntuales. Los criterios proporcionados por los autores de esta tesis están enmarcados en los principios de eficiencia incluyendo conceptos tecnológicos, consumo de energía y conciencia ambiental.

Para llevar a cabo la auditoría de eficiencia energética en las empresas de fundición de metales del AMB se planteó la siguiente metodología:

7.1. Proceso de la auditoría

7.1.1. Planificación inicial

- a. **Identificación de objetivos:** En este apartado vamos a determinar cuáles pueden ser los objetivos de la auditoría según la necesidad de la empresa a evaluar como, por ejemplo: reducción de consumo energético, cumplimiento de la norma y regulaciones o mejorar la productividad operativa, de acuerdo con la respuesta de

la empresa se recomienda la auditoría de nivel 3 justificada en reducción de gastos y consumo a largo plazo. Para este proceso se propone una reunión de apertura con los auditores, gerente de la empresa a auditar y el personal encargado del área de producción, mantenimiento y calidad, con el fin de escuchar las problemáticas que exponen estos y aclarar los objetivos de la auditoría.

- b. **Recopilación de información preliminar:** Acá se reúne los datos de los procesos de fundición, instalaciones, equipos y el consumo que se esté llevando en los últimos 4 meses, esta información será suministrada por la empresa; a su vez debido a que las empresas de fundición en el AMB se siguen usando los hornos a combustión principalmente el carbón, se solicitará las toneladas requeridas mensualmente para su producción.

7.1.2. Análisis energético.

- a. **Perfil energético:** se crea un perfil a detalle de cual es todo el consumo que está manejando actualmente esta empresa donde vamos a identificar cuáles son estas áreas críticas y que patrones de uso se están desarrollando dentro de esta. En este apartado se realizan las mediciones propias de los auditores para realizar las comparativas con las que maneja la empresa y las que esta última no tenga clara.
- b. **Análisis comparativo o Benchmarking:** Se comparan los indicadores de eficiencia energética de la empresa con los estándares de la industria local, nacional e internacional. Estos indicadores son dependiendo del tipo de hornos que se manejen y se hace la comparativa para ver qué tan alejados estamos del ámbito

internacional.

7.1.3. Inspección in situ:

- a. **Inspección de los equipos:** Se examina el estado y eficiencia de los equipos de fundición y se identifican cuáles pueden ser las posibles mejoras.
- b. **Análisis Técnico:** Se realiza mediciones detalladas de los procesos, se identifica dónde puede estar las mayores pérdidas de energía y dónde puede haber una oportunidad de optimización.

7.1.4. Identificación de oportunidades

- a. **Entrevistas y consultas:** Se entrevista al personal que opere los equipos que presenten las principales oportunidades de optimización o donde estén las mayores pérdidas de energía y se obtiene información sobre cuáles son las prácticas operativas que están manejando y que sugerencias pueden brindar para mejorar la eficiencia energética del equipo que opere.
- b. **Análisis Costo-Beneficio:** Evaluamos la viabilidad económica de las posibles mejoras identificadas.

7.1.5. Propuestas de mejoras:

- a. **Informe al detalle:** se presenta un informe que incluya cuales son las oportunidades de mejora con estimación de costos y beneficios priorizando la

conservación de equipos aplicando una programación detallada de mantenimientos preventivos de los equipos.

- b. **Plan de acción:** Se crea un plan de acción detallado para implementar las recomendaciones estableciendo cuales tienen prioridad sobre otras.

7.1.6. Seguimiento:

- a. Colaboración y coordinación: Se establece una colaboración con la empresa para desarrollar estas mejoras.
- b. Seguimiento: Se desarrolla un monitoreo periódico o continuo para evaluar la efectividad de las mejoras implementadas.

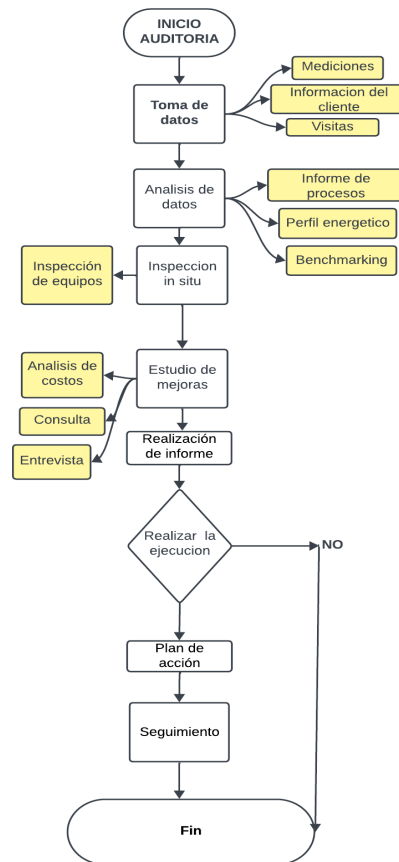
7.1.7. Reporte final

- a. Informe final: se documenta los resultados de la auditoría, las mejoras implementadas y el impacto energético que se obtuvo.
- b. Recomendaciones: Se propone unas sugerencias para la mejora continua de la producción y la eficiencia.

7.1.8. Capacitación de personal:

Se brinda una capacitación al personal de la empresa sobre cuáles son las practicas más eficientes.

A continuación, en la Figura 9. se observa el orden lógico de la auditoria.

Figura 9: Diagrama de flujo de la auditoria*Fuente: Propia*

7.2. Equipos necesarios para realizar la auditoría energética.

Como se ha especificado en los apartados anteriores, y siguiendo el diagrama de flujo de la auditoria (Figura 9), para la realización de este tipo de auditorías energéticas se debe llevar unos procesos de medición ya sean tomados por los instrumentos que tiene la fundidora para llevar el control de datos o mediciones específicas que necesite el auditor lo cual constituye una mejor precisión que es clave para el buen desarrollo de la auditoría. Por lo anterior se recomiendan usar

los siguientes equipos para la toma de estos datos entre los cuales tenemos:

- **Analizador de redes:** Este dispositivo permite medir variables de energía. Existen varios tipos de estos medidores los cuales tienen diversos elementos dependiendo de las marcas y tecnológicas que empleen. Los más comunes son de pinzas que toman la medida de tensión y transformadores de corriente que se instalan en los conductores del flujo corriente que permite una medición exacta que se esté manejando. Los analizadores de redes más modernos son portátiles y tienen una conexión directa. El dispositivo cuenta con un procesador que calcula los datos como: Potencias (activas, reactivas, aparente), factor de potencia, frecuencia, armónicos, THD (tasa de distorsión armónica) y energía. En las Figuras 10. y la Figura 11. se observan los 2 analizadores de redes más comunes.

Figura 10: Analizador de redes portátil marca Fluke.



Fuente: Catalogo Fluke 2017

Figura 10: Analizador de redes marca Lovato.



Fuente: Catalogo de Lovato 2016-2018

- **Multímetro:** El analizador de redes permite un buen análisis general en la toma de datos de las instalaciones eléctricas al igual que tiene un amplio análisis de variables de circuitos ramales y principales en subestaciones y tablero, pero cuando se requiere una medición rápida y puntualizada el multímetro resulta muy útil. El uso del analizador de redes y el multímetro deben tener buena calibración, preferiblemente por organismos autorizados para esto, que garantice una fiabilidad de los elementos a medir y no haya una diferencia entre estos. En la Figura 12. y la Figura 13. se observan los 2 tipos de multímetros que se pueden usar para la realización de la auditoría.

Figura 11: Multímetro marca Fluke.



Fuente: Catalogo Fluke 2017

Figura 12: Multímetro de pinza marca Megger.



Fuente: Catalogo Megger 2020

- **Analizador de gases de combustión:** Este analizador comprende de una sonda para tomar las mediciones, opacímetro el cual permite tener una medida de la cantidad de combustible que no está siendo quemado, termómetro de gases para los combustibles y un termómetro de infrarrojo para tener una medición del interior de las maquinas que están ejecutando el proceso de combustión.

Figura 13: Analizador de gases de combustión marca Kimo.



Fuente: Catalogo Kimo 2021

Figura 14: Analizador de gases de combustión marca E-Instruments International.



Fuente: Catalogo EINS 2016

- **Termohigrómetro:** Este instrumento de medición nos permite tener una medición clara de la temperatura y la humedad relativa.

Figura 15: Termohigrómetro marca Fluke.



Fuente: Catalogo Fluke 2017.

- **Luxómetro:** Este instrumento para la auditoría nos sirve en ciertos espacios principalmente administrativos para medir la iluminancia real del ambiente.

Figura 16: Anemómetro marca Fluke.



Fuente: Catalogo Fluke 2017

- **Cámara termográfica:** Nos permite identificar los puntos con mayor temperatura en las diferentes maquinas a partir de emisiones infrarrojas medias del espectro electromagnético de las mismas.

Figura 17: Cámara termográfica marca Fluke.



Fuente: Catalogo Fluke 2017.

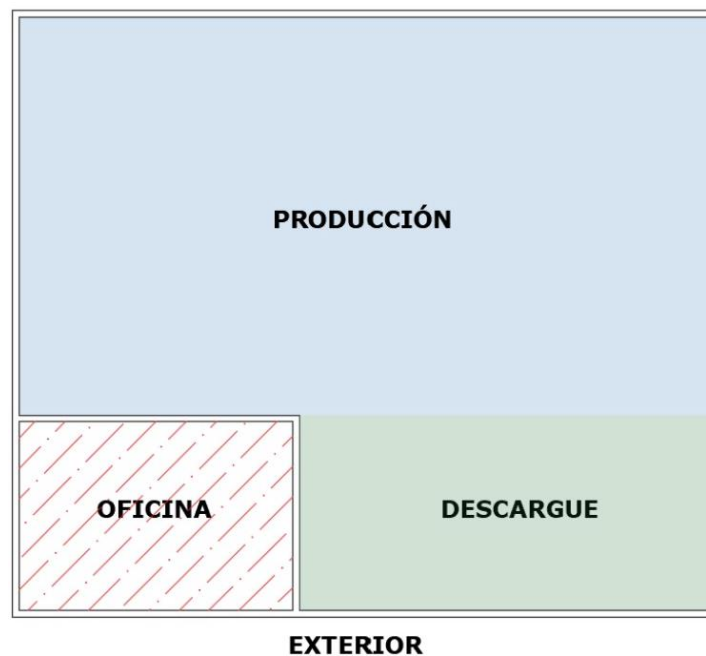
8. Aplicación de la metodología

Para comprobar la efectividad y veracidad de la metodología propuesta se desarrolló un ejemplo práctico en una empresa de Bucaramanga dedicada a la fundición de metales llamada FUNDICIONES BLANCO. Es una empresa que fabrica principalmente tapas y aros para el acueducto y empresas de servicios de telecomunicaciones, así mismo rejillas de alcantarillado, válvulas de charnela, pesas entre otros.

Inicialmente se programó una reunión el representante legal de la empresa donde se pidió información de esta en la que se observó de que cuentan con 2 hornos, un horno cubilote y un horno de inducción, posterior a esto se buscó información sobre estos para poder desarrollar un buen trabajo. Luego se describió el consumo energético de los 2 hornos mencionados anteriormente. Para el horno de inducción habían registrados unos datos de un contador donde se tomaron los datos antes y después de cada proceso de fusión. La empresa actualmente maneja una plantilla que es llenada por supervisor del área donde se indican cuantos Kg se fundieron, cuanto tiempo duro el proceso y los kWh consumidos; para el horno de cubilote se tiene en cuenta es el consumo de carbón.

Para el desarrollo de la auditoría se hace un acuerdo con el representante de solo auditar la parte de producción debido a que la parte de las oficinas no representa un consumo significativo a la empresa y tampoco tiene los registros del consumo. En la Figura 20. se observa la proporción en espacio de la parte productiva a la administrativa.

Figura 18: Esquema básico de distribución de la empresa Fundaciones Blanco.



Fuente: Propia.

Teniendo en cuenta el diagrama de flujo (Figura 9.) para la auditoria se hace una toma de datos propias y otras recolectadas con información de la empresa, posterior a esto se hace un análisis de datos, en este caso lo que se hizo fue encontrar que tan eficientes eran los hornos y que costos de operación tienen, luego se hizo una comparación con índices ambientales, encontrando posibilidades de mejoras.

Se revisaron los manuales y mediciones suministradas por la empresa y tomadas por los auditores para proceder a hacer los cálculos para hallar las propiedades termodinámicas. Con esta información se realizan los respectivos balances energéticos para hallar la eficiencia. Posterior a eso se estima cual es el verdadero impacto al medio ambiente y se evaluó el aspecto económico asociado al uso de combustibles en ambos hornos. Luego se caracterizó las emisiones contaminantes de los hornos comparándolos con los índices de emisión reportados por la unidad de planeación minero-energética (UPME).

8.1. Toma de datos

Siguiendo el diagrama de flujo (Figura 9) para la realización de una auditoria iniciamos con la recolección de datos ya sean medidos por los auditores o recolectados con información preliminar de la empresa. Para la toma de los datos se hizo un total de 6 mediciones en diferentes puntos del horno como, piso del horno, cuerpo del horno, tapa del horno, gases de combustión emitidos por el horno de inducción etc.; con una incertidumbre de aproximadamente $\pm 2\%$. Las mediciones realizadas se usó un termopar tipo K ya que es un elemento de medición de bajo costo y está diseñado para soportar temperaturas de 0 a 1500°C. El termopar tipo K tiene un revestimiento cerámico para poder usarse al interior del horno. En la tabla 3 se observan los valores obtenidos con las mediciones.

Tabla 3: Mediciones horno de inducción.

	Temperatura gases (combustión) (°C)	Temperatura operación (°C)	Tiempo de fundición (s)	Presión Manométrica refrigerante (agua) psi	Temperatura chatarra (inicial) (°C)	Temperatura piso del horno(°C)	Temperatura externa tapa del horno(°C)	Temperatura externa cuerpo del horno(°C)
FUNDICIÓN 1	43.5	1530	5289	50	25	51	136.8	71
FUNDICIÓN 2	40	1520	5280	50	25	49	157.1	70
FUNDICIÓN 3	42	1490	5289	50	25	49	146.9	70
FUNDICIÓN 4	42	1490	5270	50	24	55	135.6	71
FUNDICIÓN 5	44	1499	5275	50	24	53	146.9	69
FUNDICIÓN 6	41	1470	5275	50	25	52	130.14	70

Fuente: Propia

En la Tabla 4. se encuentran los datos suministrados por la empresa y medidas realizadas por los autores del proyecto con el fin de encontrar las pérdidas de energía y logremos hallar la eficiencia del horno de inducción. Los valores de la tabla 4 son los valores promedio del total de mediciones realizadas en el horno de inducción.

Tabla 4: Datos de la operación actual del horno de inducción.

Ítem	Medición	Fuente
Tiempo de operación (s)	5280	Cronómetro
Hierro fundido (Kg)	1000	Datos de la empresa
Temperatura - piso (°C)	52,1	Termopar (tipo k)
Temperatura - operación(°C)	1500	Pirómetro
Temperatura inicial de la chatarra(°C)	25	Termopar (tipo k)
Temperatura tapa del horno (externa) (°C)	137.4	Termopar tipo k
Presión manométrica refrigerante (Psi)	50	Manómetro de bomba
Caudal de la bomba (LPM)	221,1	Manual
Temperatura gases de combustión (°C)	42	Pruebas isocinéticas
Temperatura externa del cuerpo del horno(°C)	70	Termopar (tipo k)
Presión atmosférica (kPa)	86,1	Barómetro

Para la toma de los datos se hizo un total de 6 mediciones en diferentes puntos del horno como, piso del horno, cuerpo del horno, tapa del horno y gases de combustión emitidos por el horno de inducción; con una incertidumbre de aproximadamente $\pm 2\%$ en 5 procesos de fundición diferentes. Los valores de la tabla 4

son los valores promedio del total de mediciones realizadas en el horno de inducción.

Figura 19: Horno de inducción.



8.1.1. Cálculos horno de inducción

Inicialmente hallamos la potencia eléctrica en la entrada del horno la cual tomamos una medida total de 5 procesos o fusiones al día de aproximadamente 1000Kg cada una la cual es 3091 kWh teniendo como promedio 1.3 horas el proceso de cada fusión.

Con esto tenemos que:

$$\mathcal{E}_{Entrada} = 3091 \text{ kWh} / (5 \times 1.3 \text{ horas}) = 475 \text{ kW}$$

El calor necesario para la fusión de la chatarra de 25 grados a 1500 grados Centígrados es:

$$\dot{Q}_{Fusión} = \Delta \mathcal{E}_{Sistema} = mC_p(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = (1500^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) (0,9098 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}) (1000 \text{ Kg})$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = (1000) (1475^\circ\text{C}) (0,9098 \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = 1341956 \text{ kJ o } 1.31 \text{ GJ}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = \frac{1,34 \text{ GJ}}{4681 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = 286.29 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \text{kW}$$

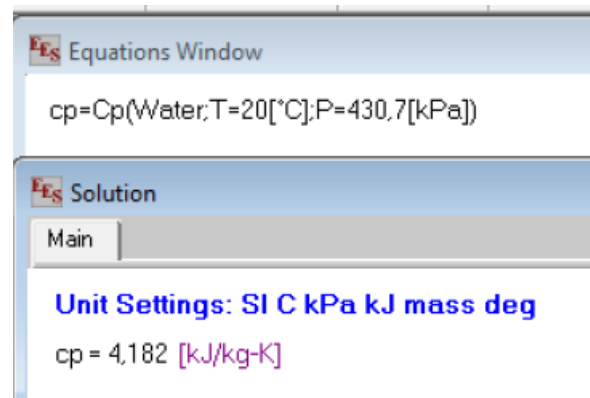
Hay que tener en cuenta que existe un calor disipado por el cableado ya que el horno se refrigera con un intercambiador de placas; el agua (refrigerante) circula a una velocidad de 221,1 LPM, cada que termina el proceso esta aumenta su temperatura a 1°. La bomba de este intercambiador maneja una presión de 50 psi o 344.69 kPa por lo cual:

$$P_{abs} = 86.1 \text{ kPa} + 344.69 \text{ kPa} = 430.68 \text{ kPa}$$

$$\text{Densidad del agua } 998.38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (Agua)}$$

El Cp del agua lo hallamos con EES como se observa en la figura 22

Figura 20: Cálculo Cp del agua EES.



Ahora convertimos LPM a m³/s para manejo de unidades:

$$221 \text{ LPM} = 3.682 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

$$\dot{m} = \left(4.181 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \left(3.68 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

$$\dot{m} = 3.6 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

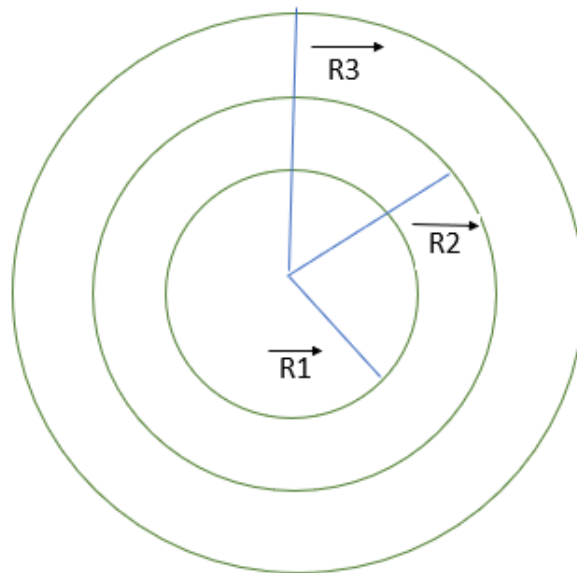
$$\dot{m}_{\text{Refrigeración}} = \dot{m} \times \Delta T \times C_p$$

$$\dot{Q}_{\text{Refrigeración}} = \left(4.182 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (1^\circ\text{C}) \left(3.677 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right)$$

$$\dot{Q}_{\text{Refrigeración}} = 15.28 \text{ Kw}$$

Las pérdidas de energía (calor) en las paredes del horno de inducción se tomó la sección circular para facilitar el análisis, como se observa en la Figura 23.

Figura 21: Sección cilíndrica horno de inducción.



La altura del cilindro es 0.867m

Radio 1= 0.253

Radio 2= 0.342

Radio 3= 0.634

Refractario LGS: K = 6.22 W/m°C (Tabla A4 libro de Transferencia de calor de Cengel SiO₂)

(dióxido de Silicio)).

Cemento refractario: $K = 0.79 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (Tabla A5 libro de Transferencia de calor de Cengel).

Se calculan por conducción las resistencias térmicas.

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_1 L} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{0.341m}{0.253m}\right)}{2\pi(6.22\frac{W}{m^\circ C})(0.866m)} \quad R_1 = 8.878 \times 10^{-3} \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_2 L} \quad R_1 = \frac{\ln\left(\frac{0.634m}{0.343m}\right)}{2\pi(0.7\frac{W}{m^\circ C})(0.866m)} \quad R_1 = 0.162 \frac{^\circ C}{W}$$

$$A_3 = 2\pi r_3 L \rightarrow A_3 = 2\pi(0.634m)(0.866m) \rightarrow A_3 = 3.44m^2$$

$$R_0 = \frac{1}{h_2 A_3} \quad R_0 = \frac{1}{(5W/m^2 \text{ } ^\circ C)(3.432)} \quad R_0 = 0.049 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_0$$

$$R_{Total} = 8.878 \times 10^{-3} \frac{^\circ C}{W} + 0.161 \frac{^\circ C}{W} + 0.049 \frac{^\circ C}{W}$$

$$R_{Total} = 0.22 \frac{^\circ C}{W}$$

La pérdida de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\dot{Q} = \frac{150^\circ C - 70^\circ C}{0.22 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1430^\circ C}{0.01 \frac{^\circ C}{W}}$$

$\dot{Q} = 6808 \text{ W}$ o 6.8 kW Pérdidas de calor por paredes

En la toma de muestras se realizó una prueba isocinética donde en promedio arrojó que por la chimenea del horno a 42°C y una $P_{abs} = 624.29 \text{ mmHg}$ sale $34.09 \text{ m}^3/\text{min}$. Entonces la densidad

del gas sería:

$$624.29 \text{ mmHg} = 83.2 \text{ kPa}$$

$$42^\circ\text{C} = 315^\circ\text{K}$$

Según la tabla A1 del libro de termodinámica de Cengel tenemos que $R = 0.288 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$

$$P = \frac{83.2 \text{ kPa (presion)}}{(0.288 \text{ kPa m}^3\text{kg}^{-1} \cdot \text{K})(315\text{K}) (RT)}$$

$$p = 0.91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{V} = 34.2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$\dot{m} = p \dot{V}$$

$$\dot{m} = (0.93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (34.1 \frac{\text{m}^3}{\text{min}})$$

$$\dot{m} = 31.4 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$\dot{m} = 0.522 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \text{ (flujo másico de los gases que salen)}$$

Datos sacados de EES:

$$h_{1 \text{ Caliente}} = 315.68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La entalpia de los gases a 42°C se aproxima a gases del aire. Se calcula la entalpia de los gases de fusión y entalpia del aire a temperatura ambiente con EES como se observa en la figura 24 y 25.

Figura 22: Cálculo entalpía de los gases de fusión EES.

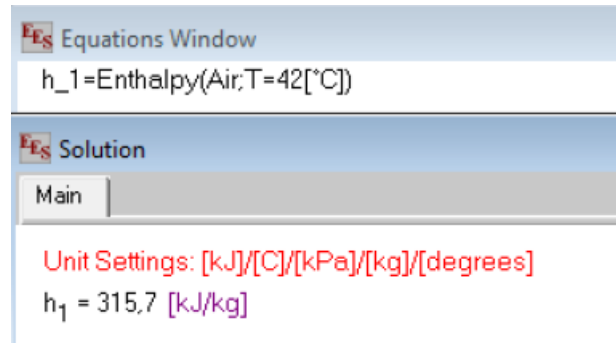
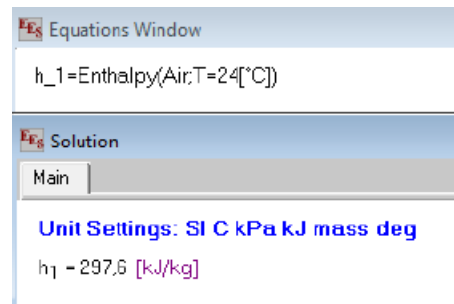


Figura 23: Cálculo entalpía del aire a temperatura ambiente ESS.



$$\dot{Q}_{gases} = 0.522 \frac{kg}{s} * (h_2 - h_1) \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$\dot{Q}_{gases} = 0.522 \frac{kg}{s} * (315.68 - 297.7) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_{gases} = 9.39 \text{ kW} \quad \text{Gases evaporados}$$

Ahora hallamos la eficiencia:

$$Eficiencia = \frac{\dot{Q}_{fusión}}{\dot{Q}_{entrada}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$Eficiencia = \frac{286.3 \text{ kW}}{474.98 \text{ kW}}$$

$$\text{Eficiencia} = 0.60 = 60\% \text{ de eficiencia}$$

Balance de energía nos queda así:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{Combustible}} - \dot{Q}_{\text{Fusión}} - \dot{Q}_{\text{Pérdidas}} &= 0 && \text{Ecuación (6)} \\ 474.98 \text{ kW} - 188.6 \text{ kW} - 286.3 \text{ kW} &= 0 \end{aligned}$$

Sumatorias de perdidas:

$$\begin{aligned} \Sigma \dot{Q} &= 6.78 \text{ kW} + 1.49 \text{ kW} + 19.38 \text{ kW} \\ \Sigma \dot{Q} &= 27.7 \text{ kW} \end{aligned}$$

Total de pérdidas de calor en el sistema:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{Pérdidas}} &= \Sigma \dot{Q} + \dot{Q}_{\text{gases}} + \dot{Q}_{\text{Refrigeración}} && \text{Ecuación (7)} \\ \dot{Q}_{\text{Pérdidas}} &= 27.72 \text{ kW} + 15.377 + 9.38 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{\text{Pérdidas}} &= 52.477 \text{ kW} \end{aligned}$$

De acuerdo con el balance:

$$\dot{Q}_{\text{Pérdidas}} = 188.69 \text{ kW} - 52.478 \text{ kW} = 136.3 \text{ kW}$$

Nota: Las pérdidas por en el piso y tapa del horno fueron suministradas por el supervisor del área.

8.1.2. Costos de operación del horno de inducción

El costo del horno de inducción por cada vez que se enciende es de 3091 kWh

El precio del kWh en Bucaramanga suministrado por la ESSA en zona industrial es de 1.000,40 COP (portal ESSA).

$$3091 \text{ kWh} \times 1000 \$ = 3.091.000 \$$$

Otro costo directo es la mano de obra la cual solo este horno ocupa 4 personas que se encargan de las siguientes funciones:

Operador 1: Maneja el horno para el vacío de la colada.

Operador 2: Clasifica la chatarra que se va a fundir.

Operador 3: Echar arena al borde de los moldes para que los moldes no se revienten con los gases.

Operador 4: Guía el puente grúa para vaciar la colada.

8.1.3. Cálculo horno cubilote

Para la toma de los datos al igual que en el horno de inducción se hizo mediciones en diferentes puntos del horno como el cuerpo del cilindro, chimenea y superficie; con una incertidumbre de aproximadamente $\pm 2\%$ en 5 procesos de fundición y días diferentes. En la tabla 4 se observan los datos obtenidos. En la Figura 26. se observa el horno cubilote estudiado.

Figura 24: Horno cubilote.



Tabla 5: Mediciones del horno cubilote.

	Tiempo de proceso (s)	Temperatura fusión (°C)	Temperatura cilindro (parte externa) (°C)	Temperatura de la chimenea (°C)	Temperatura de los gases de salida (°C)	Temperatura superficial chimenea (°C)
FUNDICIÓN 1	2790	1420	88.6	44.7	376	311
FUNDICIÓN 2	2900	1427	88.1	47.1	375	316
FUNDICIÓN 3	2890	1423	88.65	49.1	370	319
FUNDICIÓN 4	2870	1410	88.9	46.9	379	312
FUNDICIÓN 5	2970	1422	88.7	46.9	369	314
FUNDICIÓN 6	2860	1418	88.6	46.3	374	312

En la tabla 5 se encuentran los datos suministrados por la empresa y medidas realizadas por los autores del proyecto con el fin de encontrar las pérdidas de energía y logremos hallar la eficiencia del horno cubilote. Los valores de la tabla 5 son los valores promedio del total de mediciones realizadas en el horno cubilote.

Tabla 6: Mediciones del horno cubilote.

Ítem	medición	Fuente
Tiempo total de operación (s)	2880	Cronómetro
Temperatura salida de los gases (°C)	374	Termopar (tipo k)
Consumo de carbón	1161	Empresa
Tiempo de fusión de una colada (s)	3600	Empresa
Temperatura -chimenea(°C)	46.31	Termopar (tipo k)
Chatarra fundida	12001	Empresa

Tabla 6: cálculos horno cubilote

Temperatura externa (°C)	88.61	Termopar (tipo k)
Diámetro de chimenea (m)	0.36	Flexómetro
Temperatura de fusión (°C)	1420	Pirómetro
Temperatura chimenea (superficial)(°C)	314	Termopar (tipo k)
Poder calorífico del carbón (kcal/kg)	7328	Informe proveedor

Inicialmente hallamos el calor liberado por el combustible.

$$\dot{Q}_{Combustible} = PC \times m_{consumida} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$\dot{Q}_{Combustible} = 7328 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \times 1160 \text{ kg}$$

$$\dot{Q}_{Combustible} = 8499333 \text{ kcal Convertidos a J}$$

$$\dot{Q}_{Combustible} = 1235417 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

$$\dot{Q}_{Combustible} = 1235417 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{Combustible} = 1235 \text{ kW}$$

Ahora hallamos el calor de fusión:

$$C_p = 0,9344 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \text{ °C. Dato obtenido para hierro fundido de EES.}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = \Delta E_{sistema} = mC_p(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = (1200 \text{ kg}) (0,9344 \text{ kJ/kg°C}) (1420 \text{ °C} - 25 \text{ °C})$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = 1565857,7 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = 1,56 \text{ GJ}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = 1,56 \text{ GJ} / 3600 \text{ s}$$

$$\dot{Q}_{Fusión} = 433,33 \text{ kW}$$

Hallamos las pérdidas de calor por paredes teniendo la misma sección de la Figura 37.

$$\text{Radio1} = 0.9377\text{m}$$

$$\text{Radio2} = 0.7378\text{m}$$

$$\text{Radio3} = 0.9754\text{m}$$

Se usa barro refractario en la capa entre r1 y r2 y lamina de acero entre r2 y r3

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_1 L} \quad R_1 = \frac{\ln\left(\frac{0.9377\text{m}}{0.7377\text{m}}\right)}{2\pi\left(45,3\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}\right)(0.81)} \quad R_1 = \frac{0.239\text{m}}{2\pi\left(2.87\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}\right)(0.81)} \quad R_1 = \frac{0.39\text{m}}{14.6\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \quad R_1 = 0.016 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_2 L} \quad R_2 = \frac{\ln\left(\frac{0.975\text{m}}{0.937\text{m}}\right)}{2\pi\left(45,3\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}\right)(0.81)} \quad R_1 = \frac{0.039\text{m}}{230.5\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \quad R_1 = 1.691 \times 10^{-4} \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$A_3 = 2\pi r_3 L \quad A_3 = 2\pi(0.975\text{m})(0.81) \quad A_3 = 4.959\text{m}^2$$

$$R_{\text{Total}} = R_1 + R_2$$

$$R_{\text{Total}} = 0.016 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 1.691 \times 10^{-4} \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Total}} = 0.016 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{total}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1420^\circ\text{C} - 88.6^\circ\text{C}}{0.016 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1331.4 \text{ } ^\circ\text{C}}{0.016 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 83212.48 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 83 \text{ KW}$$

Pérdida de calor por la chimenea:

$V = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Datos obtenido de la prueba isocinética)

$P = 610.83 \text{ mmHg} = 81.45 \text{ kPa}$ (Datos obtenido de la prueba isocinética)

$46.3^\circ\text{C} = 319.3\text{K}$.

Con esta temperatura se obtiene del EES la entalpía para el aire: $h = 747.2 \text{ kJ/kg}$.

Diámetro = 1.3m

$P = pRT$ $p = P/RT$

$R = 0.287 \text{ kPa} \frac{\text{m}^3}{\text{kg K}}$

Datos obtenidos de tabla A1 del libro de termodinámica para aire (Cengel & Boles, 2012).

$$P_1 = \frac{P}{RT} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$P_1 = \frac{81.45\text{Kpa}}{\left(0.287\text{Kpa} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(319.3\text{K})} \quad P_1 = \frac{81.45\text{Kpa}}{91.59\text{Kpa} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \quad P_1 = 0.889 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

El calor sensible que se pierde en la chimenea es aproximadamente 550.02 kJ/s de acuerdo con un reporte realizado por INCOMBUSTION (Unión temporal INCOMBUSTION, 2016)

El flujo masico de los gases de combustión que son expulsados por la chimenea se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{h_2 - h_1} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$\dot{m} = \frac{\frac{550.02\text{KJ}}{\text{s}}}{\frac{(747.2 - 297.6)\text{KJ}}{\text{kg}}} \quad \dot{m} = 1.223 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Ac = \frac{\pi D^2}{4} \quad Ac = \frac{\pi(1.3)^2}{4} \quad Ac = 1.33\text{m}^2$$

La densidad para la temperatura de $374^{\circ}\text{C} = 648\text{K}$ que es la temperatura efectiva de los gases de combustión es:

$$P_2 = \frac{p}{RT} \quad P_2 = \frac{81.45\text{Kpa}}{\left(0.287\text{Kpa}\cdot\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)(647\text{K})} \quad P_2 = \frac{81.45\text{Kpa}}{185.6\text{Kpa}\cdot\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \quad P_2 = 0.438 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Como tenemos que $m = \rho_2 VAc$ entonces:

$$V = \frac{\dot{m}}{Ac\rho_2} \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$V = \frac{1.223\frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{(1.33\text{m}^2)\left(0.438\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad V = \frac{1.223\text{m}}{0.578\text{s}} \quad V = 2.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esta es la velocidad registrada al inicio de la sección de la chimenea.

Ahora hallamos el coeficiente correctivo, teniendo en cuenta que el aire a 350°C tiene una viscosidad cinemática que es $5.7475 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Dato tomado del libro de transferencia de calor de Cengel).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$Re = \frac{\left(2.11\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(1.3\text{m})}{\frac{5.475 \times 10^{-5} \text{m}^2}{\text{s}}} \quad Re = \frac{2.743}{5.475 \times 10^{-5}} \quad Re = 50100.455 = \text{Flujo Turbulento}$$

En este caso asumimos tubería lisa de acuerdo al factor de fricción (Dato tomado del libro de transferencia de calor Cengel)

$$F = (0.790 \ln Re - 1.638)^{-2} \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$F = (0.790 \ln (50100.455) - (1.64))^{-2}$$

$$F = 0.0133$$

$Pr = \#$ de Prandtl, se obtiene de tabla A15 temperatura 350°C $Pr = 1.64$

El número de Nusselt la calculamos con la correlación de Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$Nu = 0.023(50100.45)^{0.8}(1.64)^{0.3}$$

$$Nu = 153.44$$

$$h = \frac{k}{D} Nu = h \frac{0.04721 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{1.3m} \times 153.4$$

$$h = 5.5733 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Después de determinar el coeficiente de convección interna, se realiza un cálculo de las pérdidas de calor de la chimenea mediante un análisis basado en resistencias térmicas, similar al empleado para el horno de inducción. En este análisis se tienen en cuenta las resistencias debidas a la convección interna y a la conducción en el metal. Esto se debe a que se ha medido la temperatura superficial de la chimenea y se supone que es uniforme a lo largo de toda su longitud.

$$r_1 = 0.6436m$$

$$r_2 = 0.65m$$

$$A_1 = 2\pi r_2 L$$

Ecuación (16)

$$A_1 = 2\pi(0.65m)(4.40m) \rightarrow A_1 = 17.97m^2$$

$$A_1 = 2\pi r_2 L \quad A_1 = 2\pi(0.6436m)(4.40m) \rightarrow A_1 = 17.97m^2$$

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} \quad R_1 = \frac{\ln\left(\frac{1.3m}{1.287m}\right)}{2\pi\left(45.3 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)(4.40m)} \quad R_1 = \frac{9.817 \times 10^{-3}}{1252.36 \frac{C}{W}} \quad R_1 = 7.83 \times 10^{-6} \frac{C}{W}$$

$$R_1 = \frac{1}{h_2 A_2} \quad R_o = R_{conv} = \frac{1}{\left(5.5733 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)(17.79m^2)} \quad R_o = 0.01 \frac{C}{W}$$

$$R_{Total} = R_1 + R_o$$

$$R_{Total} = 7.83 \times 10^{-6} \frac{C}{W} + 0.01 \frac{C}{W}$$

$$R_{Total} = 0.01 \frac{C}{W}$$

$$\dot{Q}_{Chimenea} = \frac{T_1 - T_3}{R_{total}}$$

Ecuación (17)

$$\dot{Q}_{Chimenea} = \frac{374^{\circ}\text{C} - 314^{\circ}\text{C}}{0.01 \frac{\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q}_{Chimenea} = \frac{60^{\circ}\text{C}}{0.01 \frac{\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q}_{Chimenea} = 6000\text{W}$$

Ahora hallamos la perdida de calor en los humos asumiendo que las propiedades de los gases de combustión se aproximan a la del aire

$$h_{1 \text{ Caliente}} = 657.1 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$h_{2 \text{ Frio}} = 297.6 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Figura 25: Cálculo entalpía gases de combustión EES.

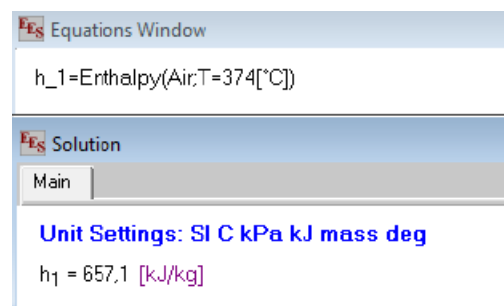
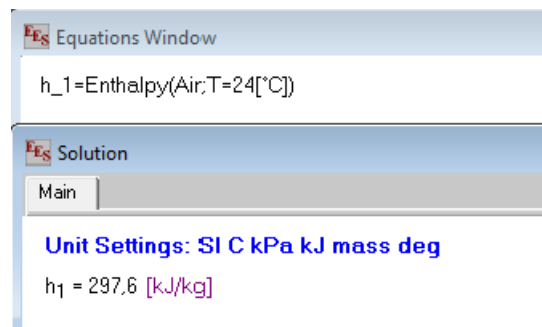


Figura 26: Cálculo entalpía del aire a temperatura ambiente EES.



$$\dot{Q} = m \times \Delta h = 1.2233 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times (h_2 - h_1) = 1.2233 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times (657.1 - 297.6) \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$\dot{Q} = 1.223 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 359.5 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$Q = 439.68 \text{ kW}$$

Ahora ya podemos hacer el balance de energía:

$$\dot{Q}_{\text{combustible}} - \dot{Q}_{\text{fusión}} - \dot{Q}_{\text{pérdidas}} = 0$$

$$1235. \text{ kW} - 433.34 \text{ kW} - 801.70 \text{ kW} = 0$$

Hallamos la eficiencia del horno de cubilote:

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_{\text{fusión}}}{Q_{\text{entrada}}} \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{433.3 \text{ kW}}{1235 \text{ kW}}$$

$$\text{Eficiencia} = 0.35 = 35\% \text{ de eficiencia}$$

La diferencia con el horno de inducción es muy notoria.

Ahora hacemos la sumatoria de pérdidas de calor de horno cubilote.

$$\Sigma \dot{Q} = 83 \text{ kW} + 6 \text{ kW} + 133.1 \text{ kW} + 439.66 \text{ kW}$$

$$\Sigma \dot{Q} = 661.77 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{pérdidas}} \text{ de acuerdo con el balance de primera ley} - \Sigma \dot{Q} = 801.7 \text{ kW} - 661.76 \text{ kW} = 139.94 \text{ kW}$$

De acuerdo con la calculadora FECOC de la unidad de planeación minero-energética –UPME- de Colombia (Unidad de planeación minero-energética de Colombia, UPME), para carbón de Cundinamarca:

$$\text{Factor de emisión } CO_2 = \frac{75915.075 \text{ k } CO_2}{TJ} \quad \text{Ecuacion (19)}$$

$$\text{Factor de emisión } SO_2 = \frac{578.8202 \text{ k } SO_2}{TJ}$$

Por lo tanto, tenemos que:

$$\text{Calculo de emisiones } CO_2 = \frac{1.56GJ}{1000G} \times \frac{75915.075 \text{ k } CO_2}{TJ} = 118.42KgCO_2$$

$$\text{Calculo de emisiones } SO_2 = \frac{1.56GJ}{1000G} \times \frac{578.8202 \text{ k } SO_2}{TJ} = 0.903kgSO_2$$

Por cada 60 minutos de operación el horno cubilote libera 118.42 kg de CO₂ y 0.903 kg de SO₂ a la atmósfera.

De acuerdo con las pruebas isocinéticas aproximadamente el material particulado es 486 mg/m³. Es decir, está por encima de la norma como lo podemos ver en la Figura 42, lo cual se debe mirar para reducir el impacto ambiental. El dióxido de azufre y nitrógeno si están cumpliendo.

Figura 27: Límites de emisión de la resolución 909 del 5 de junio del 2008

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
Dióxido de Azufre (SO ₂)	TODOS	550	500
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	TODOS	550	500
Compuestos de Fluor Inorgánico (HF)	TODOS	8	
Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)	TODOS	40	
Hidrocarburos Totales (HC _T)	TODOS	50	
Dioxinas y Furanos	TODOS	0,5*	
Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H ₂ SO ₄	TODOS	150	
Plomo (Pb)	TODOS	1	
Cadmio (Cd) y sus compuestos	TODOS	1	
Cobre (Cu) y sus compuestos	TODOS	8	

Las Dioxinas y Furanos se expresan en las siguientes unidades: (ng-EQT / m³), EQT: Equivalencia de Toxicidad.

Fuente: Ministerio del medio ambiente

8.1.4. Costo de operación del horno cubilote

$$1160 \text{ kg} \times \frac{438\$}{1 \text{ kg de carbon}} = 509.080\$ \text{ COP}$$

Este horno trabaja con 7 operarios.

Operario 1: Alerta de sostener la cuchara para que la colada se vacíe en ella.

Operario 2: Seleccionar y dividir de chatarra.

Operario 3: Aporta arena en el borde de los moldes para que no se reviente por los gases.

Operario 4: Vaciador.

Operario 5: Chuzador, sostiene un eje para cerrar la piquera por donde sale la colada.

Operario 6: Esta pendiente que el vaciador suministre bien la colada en los moldes.

Operario 7: Remueve el barro refractario y pone uno nuevo.

8.1.5. Análisis comparativo de costos

A la hora de realizar un mantenimiento al horno cubilote es necesario el barro refractario que se encuentra en el mercado por un precio aproximadamente de 348\$ COP el Kg y cada mantenimiento se gasta 480 Kg.

$$480 \text{ kg} \times \frac{348\$}{1 \text{ Kg}} = 167040\$ \text{ COP}$$

Para el mantenimiento se necesita una persona que le cuesta a la empresa un total de 66307\$ al día.

Para la parte de mantenimiento del horno de inducción se necesita blue pack que tiene un valor de 6175\$ COP x Kg y un dri vibe que cuesta 2625\$ x kg, en cada mantenimiento se gasta 20kg de blue pack y 100 kg de dri vibe.

$$20kg \times \frac{6175\$}{1Kg} = 123500\$ COP$$

$$100kg \times \frac{2625\$}{1Kg} = 262500\$ COP$$

En total los insumos del mantenimiento del horno de inducción son 386000\$ COP, también se necesita un operador que cuesta diario 66307\$ COP, el mantenimiento se hace 1 vez al mes.

Finalmente, como recomendaciones para la empresa se propone lo siguiente:

- Aumentar o cambiar el aislante térmico de los hornos para garantizar la resistencia estructural y resistencia al calor.
- Aumentar la fibra refractaria o fibra cerámica con el fin de bajar la densidad del material refractario y almacenar mejor el calor.
- Capacitación del personal para controlar el sellado del horno incluyendo el sellado de todos los componentes de salida como la puerta debido a que afecta el consumo de energía y se pierde eficiencia de estos.
- Subsanan los deterioros en el piso y paredes de los hornos debido a que generan pérdidas de energía y genera un estrés térmico en el personal.
- Auditar la sección administrativa de la empresa.

9. Conclusiones y recomendaciones para la empresa

- El horno cubilote tiene una eficiencia solo del 35% lo que lo hace muy baja a comparación del horno de inducción, más sin embargo este horno es más económica su operación ya que consume 435000\$ por día de trabajo suponiendo que se realizan 5 fundiciones al día.

- El horno de inducción presenta una eficiencia del 60%, casi el doble del horno cubilote, pero su día de operación tiene un costo de 1251855\$, 2.8 veces mas costoso que el horno cubilote
- Los costos del personal operativos son más económicos en el horno de inducción ya que solo se necesitan 4 operarios y en el de cubilote 7 operarios.
- El horno de inducción tiene impactos mínimos al medio ambiente ya que no tiene emisiones contaminantes, por otra parte, el horno de cubilote si tiene emisiones contaminantes, está por encima 236 mg/m³ de acuerdo con la resolución 909 del 5 de junio del 2008 por el ministerio de medio ambiente.
- El costo de mantenimiento de los hornos es más caro el horno cubilote ya que se cambia el refractario cada vez que se va a usar y el horno de inducción se hace mantenimiento 1 vez al mes, así mismo la mano de obra para su mantenimiento es más alta.
- El combustible del horno de inducción es más costoso ya que la energía que necesita para su funcionamiento cuesta 3091000\$ COP día.
- En recomendaciones para la empresa se debería llevar los controles de temperatura en todos los procesos de fundición para tener una idea de que tan eficientes.

10. Aplicativo para el desarrollo de la auditoría URE en las PYMES del AMB.

Con el fin de tener una mayor brevedad a la hora de realizar la auditoria se realiza un aplicativo teniendo en cuenta el ejemplo práctico de la metodología para tener una mayor brevedad a la hora de recolección de datos, información relevante y rapidez en la síntesis de la información.

Las auditorías de eficiencia energética, aunque cruciales, a menudo enfrentan desafíos en su implementación. Los métodos tradicionales pueden ser lentos, costosos y propensos a errores

humanos. La recopilación manual de datos, el análisis tedioso y la elaboración de informes consumen tiempo valioso. Un aplicativo diseñado específicamente para este propósito puede abordar estos problemas y transformar la forma en que se realizan las auditorías.

La automatización de la recopilación y análisis de datos agilizará significativamente el proceso de auditoría, reduciendo el tiempo necesario para completarla.

Los algoritmos avanzados pueden identificar patrones y anomalías de manera más eficiente que los métodos manuales, mejorando la precisión de los resultados. La automatización de la recopilación y análisis de datos agilizará significativamente el proceso de auditoría, reduciendo el tiempo necesario para completarla.

Un aplicativo permitiría realizar auditorías en cualquier lugar y momento, eliminando las limitaciones geográficas y facilitando la recolección de datos en el sitio.

La movilidad proporcionada por la aplicación podría agilizar la respuesta a problemas identificados durante la auditoría. Un sistema centralizado para almacenar y gestionar datos permitirá un acceso rápido y seguro a la información recopilada, facilitando la colaboración entre equipos y la revisión de auditorías pasadas. La aplicación podría generar informes personalizados de manera rápida y efectiva, presentando de manera clara las oportunidades de mejora y las recomendaciones para la eficiencia energética. A pesar de las ventajas, la implementación de un aplicativo para auditorías de eficiencia energética no está exenta de desafíos. La seguridad de los datos, la interoperabilidad con sistemas existentes y la capacitación del personal son aspectos clave que deben abordarse cuidadosamente.

La introducción de un aplicativo dedicado a la realización de auditorías de eficiencia energética representa un paso significativo hacia la optimización de los recursos y la sostenibilidad. La automatización, la accesibilidad y la gestión eficiente de datos ofrecen beneficios tangibles que pueden transformar la forma en que se abordan los desafíos energéticos. Al superar los obstáculos mediante un diseño cuidadoso y una implementación sólida, este tipo de aplicativo podría convertirse en una herramienta invaluable en la búsqueda de un futuro energético más sostenible y eficiente.

Para la creación del aplicativo nos basaremos en tener lo necesario para realizar el tipo de auditoría que necesitamos que es una auditoría para las PYMES en el área metropolitana de Bucaramanga, en base a esto nos guiaremos de acuerdo con la metodología propuesta para la realización de este.

Inicialmente para la creación de este aplicativo tenemos varios programas que nos pueden servir como interfaz, programas como App inventor, Matlab, Python, C++ Y EXCEL son los que analizaremos para poder crear el aplicativo de las auditorías URE. En la siguiente tabla la cual es una matriz de alternativas se ilustra cuáles fueron las alternativas propuestas con los criterios necesarios para la creación de esta.

Tabla 7: Matriz de selección de alternativas.

CRITERIOS	PHYTON	MATLAB	EXCEL	APP INVENTOR	C++
Conocimiento de la interfaz	1	3	3	0	0
Costos de licencia	1	2	4	3	1
Facilidad de usar	2	2	4	3	1
Brinde mayor informacion	4	3	3	1	3
Conocimiento del lenguaje de programacion	1	3	3	3	1
Portabilidad	0	1	4	3	1
Costos operativos	1	1	4	2	1
Compatibilidad con dispositivos portatiles	1	1	4	3	1
Facilidad de capacitacion del aplicativo	2	2	3	3	2
Facilidad de compartir la informacion.	1	1	4	1	1
Puntaje total	14	19	36	22	12

0	Nulo
1	Bajo
2	Medio
3	Alto
4	Muy alto

Fuente: Propia.

Los criterios en que se basó para la realización de la matriz de selección de alternativas fueron pensados en

la situación específica de auditorías de eficiencia energética para empresas de Fundición en el AMB, en los que se busca que el aplicativo sea fácil de usar, tenga costos bajo de adquirir la licencia, la información sea clara y precisa, que la persona o auditor que la vaya a usar tenga conocimiento de su manejo, que se pueda llevar a todos lados, no sea costosa su operatividad y actualizaciones, se pueda capacitar de una manera rápida y eficaz al auditor y se pueda compartir la información de una manera fácil y rápida. De acuerdo a todos estos criterios y las opciones que existían se hizo una tabla de ponderación de 0 hasta 4 donde 0 es que es la peor calificación y 4 la mejor, por lo cual el programa que se va a usar para realizar la auditoría es EXCEL.

En base a lo anterior empezamos con la programación de información del aplicativo en Excel.

Inicialmente empezamos con los datos de la empresa que son fundamentales para un buen reporte como el NIT, nombre de la empresa, razón social, RUT, dirección, barrio y sector; adicional a esto los medios de comunicación como correo electrónico y teléfono. Luego los datos del representante de la empresa o el encargado por parte de la empresa que debe responder por la auditoría ante ella para tener con quien debemos comunicarnos directamente por eso se solicita el nombre completo, razón social, cargo, correo electrónico, teléfono, dirección, barrio, sector; se pregunta nuevamente la dirección, barrio y sector llegado el caso y que las oficinas queden en instalaciones diferentes a la zona de producción. Finalmente, para concluir la parte de datos generales se llenan los datos de la persona líder encargada de realizar la auditoría para que se pueda tener claro quién es el responsable de esta, por lo anterior se le solicita al igual que representante de la empresa el nombre completo, razón social, cargo, correo electrónico, teléfono, dirección, barrio y sector. Los datos de dirección del auditor tienen que ser de la empresa para la que este laborando o en su defecto si lo hace de forma independiente del lugar donde tenga su residencia como se observa en la Figura 30.

Figura 28: Información de datos generales del aplicativo en Excel.

AUDITORIAS URE PARA PYMES DEL SECTOR PRODUCTIVO DE FUNDICIONES DE ACERO U OTROS METALES EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA									
INFORMACIÓN GENERAL									No.
1. DATOS DE LA EMPRESA AUDITURADA									
NIF/NIE	8002149843	NOMBRE	FUNDICIONES BLANCO						
RAZÓN SOCIAL		RUT							
CORREO ELECTRÓNICO		TELÉFONO	3152560968						
DIRECCIÓN	Av. Quebrada Seca	BARRIO	GIRARDOT				SECTOR	Norte	
2. DATOS DE EL/LA REPRESENTANTE DE LA EMPRESA									
APELLIDOS	VILLAMIZAR	NOMBRE	CARLOS ANDRES						
RAZÓN SOCIAL		CARGO	GERENTE GENERAL						
CORREO ELECTRÓNICO		TELÉFONO	3114938141						
DIRECCIÓN	Av. Quebrada seca	BARRIO	GIRARDOT				SECTOR	Norte	
3. DATOS DE EL/LA AUDITOR/A ENCARGADO									
APELLIDOS	SILVA SEPULVEDA	NOMBRE	MARYORI						
RAZÓN SOCIAL		CARGO	AUDITOR						
CORREO ELECTRÓNICO		TELÉFONO	3202959142						
DIRECCIÓN	Cra 10B #22-58	BARRIO	Floridablanca				SECTOR	Sur	

Fuente: Propia.

Según la metodología propuesta por los autores el inicio de la auditoría radica en una reunión de apertura general donde participan diferentes involucrados del área de producción y las demás, por eso se plasmó en el aplicativo una tabla con la fecha de la reunión donde se escribe el nombre, apellido y cargo que maneja en la empresa, como se observa en la Figura 31.

Figura 29: Lista de reunión de apertura del aplicativo en Excel.

REUNIÓN DE APAERTURA				
Fecha: 13/10/23				
Asistentes	Nombre	Apellido	Cargo	
1	Elkin	Mesa	Auditor	
2	Carlos Andres	Villamizar	Gerente general	
3	Javier	Ortiz	Jefe de mantenimiento	
4	Maryori	Silva	Auditora	
5				

NOTA: Agregar más si se considera necesario.

Fuente: Propia.

Posterior a la reunión de apertura se decide en conjunto con la empresa el tipo de auditoría, recomendando siempre usar la auditoría Tipo 3, se hizo la programación en el software de Excel aplicando una prueba lógica la cual recopila la información preliminar de una tabla de información, los datos a traer dependen de una celda programada con la opción de validación de datos tipo lista para seleccionar que tipo de interventoría se estudia; esto con el fin de que los objetivos se modifiquen automáticamente de acuerdo con su selección, como se muestra en la Figura 32. y la Figura 33.

Figura 30: Selección del tipo de auditoría aplicativo Excel.

OBJETIVOS DE LA AUDITORIA		
Tipo de auditoría:		Nivel 3
ITEM	OBJETIVO	RESPONSABLE
1	Recopilar la información preliminar.	Elkin Mesa
2	Identificar los procesos, maquinaria o áreas de la empresa.	Elkin Mesa
3	Inventariar los equipo e instalaciones existentes.	Maryori Silva
4	Revisión de consumos energéticos en base a facturación y datos suministrados por la empresa.	Maryori Silva
5	Realizar un reporte con los patrones de consumo.	Elkin Mesa
6	Realizar un reporte con los patrones de consumo y propuestas para lograr un ahorro energético.	Elkin Mesa
7	Realizar inspección in situ.	Elkin Mesa
8	Entrevistas individuales con el personal operativo.	Maryori Silva
9	Crear el plan de mantenimiento preventivo y correctivo anual de los equipos.	Maryori Silva
10	Realizar un reporte con los resultados de la auditoria detallando las mejoras propuestas, el impacto energético, sugerencias y presupuesto necesario para la ejecución, teniendo aspecto positivo en los costos de energía.	Elkin Mesa
11	Llevar un seguimiento, colaboración y coordinación de las mejoras propuestas, con un monitoreo periódico de estas.	Elkin Mesa
12	Capacitar al personal con las nuevas mejoras.	Elkin Mesa

*Fuente: Propia.**Figura 31: Selección tipo de auditoría del aplicativo en Excel.*

OBJETIVOS DE LA AUDITORIA		
Tipo de auditoría:		Nivel 3
ITEM	OBJETIVO	RESPONSABLE
1	Recopilar la información preliminar.	Elkin Mesa
2	Identificar los procesos, maquinaria o áreas de la empresa.	Elkin Mesa
3	Inventariar los equipo e instalaciones existentes.	Maryori Silva
4	Revisión de consumos energéticos en base a facturación y datos suministrados por la empresa.	Maryori Silva
5	Realizar un reporte con los patrones de consumo.	Elkin Mesa
6	Realizar un reporte con los patrones de consumo y propuestas para lograr un ahorro energético.	Elkin Mesa
7	Realizar inspección in situ.	Elkin Mesa
8	Entrevistas individuales con el personal operativo.	Maryori Silva
9	Crear el plan de mantenimiento preventivo y correctivo anual de los equipos.	Maryori Silva
10	Realizar un reporte con los resultados de la auditoria detallando las mejoras propuestas, el impacto energético, sugerencias y presupuesto necesario para la ejecución, teniendo aspecto positivo en los costos de energía.	Elkin Mesa
11	Llevar un seguimiento, colaboración y coordinación de las mejoras propuestas, con un monitoreo periódico de estas.	Elkin Mesa
12	Capacitar al personal con las nuevas mejoras.	Elkin Mesa

Fuente: Propia.

Una vez teniendo claro el tipo de auditoría a realizar se inserta manualmente el inventario con la edad promedio del equipo o instalación, como base para las futuras programaciones como se observa en la Figura 34.

Figura 32: Inventario de equipos del aplicativo en Excel.

INVENTARIO DE EQUIPOS POR AUDITAR	
EQUIPO PRODUCCION	EDAD PROM
Horno de induccion	25 años
Horno Cubilote	30 años
EQUIPO INSTALACION	EDAD PROM

Cuenta con un programa de mantenimiento predictivo para el equipo de producción: No

Fuente: Propia.

Con el inventario ya completado se pregunta si se cuenta con una programación de mantenimiento preventivo para los equipos de producción, con 2 tipos de selección SI o No en el orden lógico de la programación la selección de no bloqueará la escritura en la programación de mantenimiento como se observa en la Figura 35. y por el contrario la selección SI se ubican automáticamente los equipos de acuerdo al inventario ya realizado previamente como se observa en la Figura 36.

Figura 33: Programación de mantenimiento en el aplicativo de Excel.

Cuenta con un programa de mantenimiento predictivo para el equipo de producción: No

ASPECTO	EDAD PROM	FRECUENCIA				Si No
		Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	
----	----					
----	----					
----	----					
----	----					

Cuenta con un programa de mantenimiento predictivo para el equipo de instalación: No

ASPECTO	EDAD PROM	FRECUENCIA				Nunca
		Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	
----	----					
----	----					
----	----					
----	----					

Fuente: Propia.

Figura 34: programación de mantenimiento en el aplicativo de Excel.

Figura 35: programación de mantenimiento en el aplicativo de Excel.

Cuenta con un programa de mantenimiento predictivo para el equipo de producción:

ASPECTO	EDAD PROM	FRECUENCIA				
		Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Nunca
0	0					
0	0					
0	0					
0	0					
0	0					

Cuenta con un programa de mantenimiento predictivo para el equipo de instalación:

ASPECTO	EDAD PROM	FRECUENCIA				
		Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Nunca
----	----					
----	----					
----	----					
----	----					
----	----					

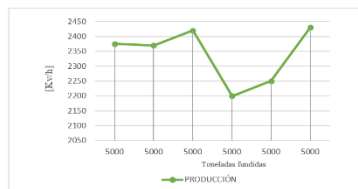
Fuente: Propia.

En la parte de un análisis preliminar se creó una tabla donde se recolectan los datos anteriores de los últimos 5 meses tanto del consumo eléctrico como del gasto de los combustibles fósiles, especificando que área si es de instalación o producción; de acuerdo con los datos suministrados en la tabla se crea automáticamente en análisis en 2 gráficos separando producción e instalaciones como se observa en la Figura 37. y la Figura 38. de igual manera para los combustibles fósiles

Figura 36: Análisis preliminar consumo eléctrico.

ANÁLISIS PRELIMINAR			
Mes	[Kv/h]	Toneladas fundidas	Area
1	2375	5000	Producción
2	2370	5000	Producción
3	2420	5000	Producción
4	2200	5000	Producción
5	2250	5000	Producción
6	2430	5000	Producción

NOTA: El mes 1 es el último registro a partir de la fecha de la auditoria.



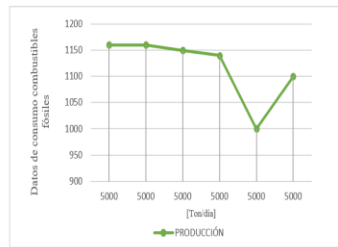
Página 1

Fuente: Propia

Figura 37: Análisis preliminar de datos de consumo de combustibles fósiles.

Mes	Datos de consumo combustibles fósiles	[Ton/día]	Área
1	1160	5000	Producción
2	1160	5000	Producción
3	1150	5000	Producción
4	1140	5000	Producción
5	1000	5000	Producción
6	1100	5000	Producción

NOTA: El mes 1 es el último registro a partir de la fecha de la auditoría.



Fuente: Propia.

Las mediciones y los cálculos son manuales debido a que las necesidades siempre van a ser variables y corresponden al criterio del auditor. Se plasmó un cuadro en la parte superior derecha donde automáticamente aparecen los equipos previamente identificados en el inventario. En la parte inferior se escriben los resultados puntuales para la programación del análisis benchmarking de acuerdo con los indicadores que el auditor considere pertinentes de acuerdo con los equipos, como se observa en la Figura 39

Figura 38: Mediciones, cálculos y análisis comparativo.

```

Combustible = 1235416 J/seg
Combustible = 1235416 W
Combustible = 1235 kW
¿
¿ ahora hallamos el calor de fusión
¿ p = 0,9345kJ kg °C. Dato obtenido para hierro fundido de EES.
fusión = ΔE sistema= mCp(T2-T1)
fusión = (1200 kg)(0,9345kJ/kg°C)(1420°C-25°C)
¿ fusión = 156859,6 kJ
¿ fusión = 1,56 GF
¿ fusión = 1,56 3600
¿ fusión = 433,3 kW R_2=ln(r3/r2) 2πK2L R_2=ln(0,975m/0,937m)/2π(45,3 W/(m°C))(0,81)
¿ I_1=0,039m (2366 W/(m°C)) R_1= 1,691x10 [K·m] / (°C·W)
¿ I_3=2πr_3L A_3=2π(0,975m)(0,81) [A_3=4,96m²

r_1=0,6436m
r_2=0,65m
A_1=2πr_1L A_1=2π(0,65m)(4,40m)→A_1=17,97m²
A_2=2πr_2L A_2=2π(0,6436m)(4,40m)→A_2=17,97m²
R_1=Ln(r2/r1) [2K_1L @] R_1=Ln(1,3m/1,28m)/(2π(45,3 W/(m°C)))(4,40m) R1
(9,81x10⁻⁴) / (1252,36°C/w) R1=7,83x10⁻⁴(°C/w)
R_1=1 [h2A2] Ro=Rconv=1/(5,573W/m²°C)(17,79m2) Ro=0,01 °C/w
Rtotal=R1+Ro
Rtotal=7,83x10⁻⁴(°C/w)+0,01°C/W
Rtotal = 0,01°C/w
Q Chamenea=(T1-T3)/Rtotal
Q Chamenea=(374°C-314°C)/(0,01 °C/W)
Q Chamenea=6000W

= x Δh = 1.223kg/s X (h1-h2) = 1.223kg/s X
(657,1-297,6) /
Q = 1223kg/s X 359,5 /
= 439,66 kW/kg
Q kJ kg
¿ ahora ya podemos hacer el balance de energía
¿ combustible - fusión - pérdidas = 0
1235 kW - 433,3 kW - 801,7 kW = 0
Q Q Q
Hallamos la eficiencia del horno de cubilote
Eficiencia=(Qfusión)/(Qentrada)
Eficiencia=(433,3 kW)/(1235 kW)
    
```

Resultado:

MEDICIONES Y CALCULOS	
Observaciones	EQUIPO INSTALACION
$E = 3091kW / (5 \times 1.3 \text{ horas}) = 475 \text{ kW}$ entrada El calor necesario para la fusión de la chatarra de 25 grados a 1500 grados Centigrados es: $Q_{\text{fusión}} = \Delta E \text{ sistema} = mCp(T2-T1)$ $Q_{\text{fusión}} = (1000Kg)(0,9098kJ/kg^{\circ}C)(1500^{\circ}C-25^{\circ}C)$ $Q_{\text{fusión}} = (1000)(0,9098kJ/{}^{\circ}C)(1475^{\circ}C)$ $Q_{\text{fusión}} = 1341955 \text{ kJ o } 1.34 \text{ GJ}$ $Q_{\text{fusión}} = (1,34 \text{ GJ}) / (4680 \text{ s})$ $Q_{\text{fusión}} = 286.3kJ/s = kW/50PSI \text{ por lo cual:}$ $Q = 50 \text{ psi} = 344.7 \text{ kPa manométrica}$ Presión absoluta: $344.7 \text{ kPa} + 86 \text{ kPa} = 430.7 \text{ kPa}$ Densidad del agua $998.4 \text{ kg/}^3 \text{ (Agua)}$ Ahora convertimos LPM a m^3/s para manejo de unidades m^3 $221 \text{ LPM} = 3.683 \times 10^{-3} \text{ (} \cdot 3 \text{) } \text{m}^3/\text{s}$ m^3 $\text{m}^3 = p \cdot V$ $\text{m}^3 = (4.182kJ/kg^{\circ}C)(3.683 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s})$	0 0 0 0 0 0 La altura del cilindro es 0.867m Radio 1= 0.234 Radio 2= 0.343 Radio 3= 0.635 Refractario LGS: $K = 6.21 \text{ W/m}^{\circ}C$ (Tomado de tabla A4 libro de Transferencia de calor de Cengel para dióxido de Silicio). Cemento refractario: $K = 0.7 \text{ W/m}^{\circ}C$ (Tomado de tabla A5 libro de Transferencia de calor de Cengel). Calculamos las resistencias térmicas por conducción $R_{1L} = \ln(r2/r1) / 2\pi kL$ $R_{1m} = \ln(0.343m / 0.234m) / (2\pi(6.21 \text{ W/(m}^{\circ}C))(0.867m))$ $R_{1L} = 8.879 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}C/W$ $R_{2L} = \ln(3/2) / 2\pi kL$ $R_{2m} = \ln(0.635m / 0.343m) / (2\pi(0.7 \text{ W/(m}^{\circ}C))(0.867m))$ $R_{2L} = 0.161^{\circ}C/W$ $A_3 = 2\pi r_3 L \rightarrow A_3 = 2\pi(0.635m)(0.867m) \rightarrow A_3 = 3.45 \text{ m}^2$
	La pérdida de calor se calcula entonces como: $Q = (T_1 - T_2) R_{total}$ $Q = (1500^{\circ}C - 70^{\circ}C) (0.21^{\circ}C/W)$ $Q = (1430^{\circ}C) (0.01^{\circ}C/W)$ $Q = 6809 \text{ W o } 6.8 \text{ kW}$ Perdidas de calor por paredes Q calor perdido por los gases que se evaporan La prueba isocinética sale $34.1 \text{ m}^3/\text{min}$ de los gases de fusión del horno por la chimenea a $42^{\circ}C$ con una presión absoluta de 624.3 mmHg. Ahora hallamos la densidad del gas. $624.3 \text{ mmHg} = 83233 \text{ Pa} = 83.2 \text{ kPa}$ $T = 42^{\circ}C = 273 + 315^{\circ}K$ $R = 0.287 \text{ kPa} \cdot 3 \text{ kg} \cdot K$ (se aproximan los gases de fusión al aire. Este dato se tomó de tabla A1 libro termodinámica de Cengel) $P = 83.2 \text{ kPa (presión)} / (0.287 \text{ kPa} \cdot 3 \text{ kg} \cdot K / 315K) / (R \cdot T)$

ANÁLISIS COMPARATIVO O BENCHMARKING			
Contaminante	Pago del contaminante (\$/lb)	Estimación de emisiones (en toneladas de contaminantes (mgm))	
		Actividades industriales	Actividades industriales menores
Materia Particulada (MP)	≤ 0.5	250	500
Dióxido de Azufre (SO ₂)	7.89	100	50
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	10000	500	500
Compuesto de Vapor Orgánico (VOC)	10000	500	500
Compuesto de Cloro Orgánico (COC)	10000	50	50
Hexafluoruro de Sulfuro (SF ₆)	10000	50	50
Distonas y Furanos	10000	0.2	0.2
Neógeno Ácido y Óxido de Azufre (aproximado como SO ₂)	10000	100	100
Plomo (Pb)	10000	1	1
Cadmio (Cd) y sus compuestos	10000	1	1
Cobre (Cu) y sus compuestos	10000	1	1

NOTA: Los datos de cada grafico los selecciona cada auditor de acuerdo con los equipos auditados.

Fuete: Propia.

En inspección in situ se escriben las observaciones que el auditor considere relevantes a la hora de hacer la inspección, el inventario ya está programado de acuerdo al realizado previamente en el apartado inicial como se observa en la Figura 40.

Figura 39: Inspección in situ.

INSPECCION IN SITU	
INVENTARIO	OBSERVACIONES
Horno de induccion	
Horno Cubilote	
0	
0	
0	

Fuente: Propia.

Los reportes finales se realizan de forma manual debido a la posibilidad de casos infinita que puede haber en una auditoría energética, en la Figura 41. se observa las entrevistas la cual el personal ya

está programado de acuerdo a la reunión de apertura realizada inicialmente. La evaluación económica se realiza de igual manera de forma manual de acuerdo a las problemáticas presentadas en los análisis.

Figura 40: Entrevista y evaluación económica.

ENTREVISTA		
NOMBRE	APELLIDO	RESPUESTA
Elikin	Mesa	
Carlos Andres	Villamizar	
Javier	Ortiz	
Marvori	Silva	
0	0	

EVALUACIÓN ECONÓMICA	
Reporte costo beneficio:	
<ul style="list-style-type: none"> •El horno cubilote es más económico pero su eficiencia es muy baja, se calculó que la eficiencia del horno es de un 35% pero el carbón que consume es de 435000\$ COP por día de trabajo •El horno de inducción es más costoso su operación, pero la eficiencia es mucho más alta que el cubilote y su día de operación cuesta 1251855\$ COP •Los costos del personal operativos son más económicos en el horno de inducción ya que solo se necesitan 4 operarios y en el de cubilote 7 operarios. •El horno de inducción tiene impactos mínimos al medio ambiente ya que no tiene emisiones contaminantes, por otra parte, el horno de cubilote si tiene emisiones contaminantes lo cual la recomendación es dejar de usar el horno cubilote. •El costo de mantenimiento de los hornos es más caro el horno cubilote ya que se cambia el refractario cada vez que se va a usar y el horno de inducción se hace mantenimiento 1 vez al mes, así mismo la mano de obra para su mantenimiento es más alta. •El combustible del horno de inducción es más costoso ya que la energía que necesita para su funcionamiento cuesta 3091000\$ COP día. 	
<p>*Se recomienda a la empresa llevar un registro detallado de las temperaturas externas de los hornos para identificar los registrar y nos dé una información de que tan eficiente son los hornos y que pérdida de calor tienen.</p>	

Fuente: Propia.

Finalmente se hace el reporte final con todas las recomendaciones y observaciones realizadas a la empresa la cual es libre de realizar su ejecución debido a que actualmente la norma ISO 50001 actualizada por la ISO 50002 no es obligatoria. En la Figura 42. se observa donde se procede a escribir el reporte del aplicativo propuesto.

Figura 41: Reporte final y seguimiento.

REPORTE FINAL	
Recomendaciones:	
Se recomienda a la empresa llevar un registro detallado de las temperaturas externas de los hornos para identificar los registrar y nos dé una información de que tan eficiente son los hornos y que pérdida de calor tienen.	

REPORTE FINAL	
FECHA	OBSERVACIONES
20/01.2024	se hace las observaciones al gerente de la empresa
	No se recomienda otro tipo de mantenimiento porque ya tienen la contratación con otra empresa

Fuente: Propia.

Como anexo al aplicativo identificado con anexo 1 se creó una hoja de programación de mantenimiento sugerida por el auditor identificando los equipos, observaciones o que se debe realizar y la frecuencia que puede ser mensual, trimestral, semestral, anual y diría, como se observa en la Figura 43.

Figura 42: Anexo 1 del aplicativo.

ANEXO 1

EQUIPO	OBSERVACIÓN	FRECUENCIA				
		Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Nunca

Fuente: Propia.

11. Conclusiones del Proyecto

- Se evidencio que Colombia adoptó la norma internacional ISO 50001 y ISO 50002 y la volvió la norma NTC ISO 50001 y 50002 para la implementación de auditorías energéticas en Colombia con ayuda de la UPME y ministerio de minas a través del programa PROURE.
- Las pequeñas y medianas empresas que decidan hacer la auditoria energética por cuenta propia tendrán que asumir costos muy altos para la realización de estas, es un valor tan alto que supera las capacidades económicas de las PYMES debido a que las empresas que realizan estas auditorias prestan su atención a las grandes empresas de fundición.
- Se concluyo por medio del ejemplo práctico realizado en fundiciones blanco que la metodología propuesta por los autores cumple con la norma NTC 50001 y NTC50002 y es de gran utilidad a las PYMES, debido a que es una metodología que se puede realizar a bajo coste.

- Para la toma de datos en el proceso de realización de las auditorias, los equipos propuestos se pueden salir del presupuesto de la empresa por lo que se recomienda buscar otras alternativas más económicas.
- Para trabajos futuros se recomienda solicitar un presupuesto un poco alto a la universidad u organización que se deba presentar el proyecto para alquilar equipo de medición garantizando buenos resultados de calidad y confiabilidad con sus mediciones.
- Es importante mejorar la programación del aplicativo con una base de datos mucho más amplia para los resultados del análisis de las mediciones de los diferentes equipos.
- El aplicativo es útil para el registro de datos, comparar indicadores y realizar informes, pero es poco útil para la base de datos y los cálculos.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Internacional de la Energía. (2011). Guía para auditorías energéticas: Implementación, gestión y operación. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/guia-para-auditorias-energeticas-implementacion-gestion-y-operacion>
- Asociación Colombiana de Pequeñas y Medianas Empresas (ACOPI). (2018). Eficiencia Energética para PYMES. Recuperado de <https://www.acopi.org.co/wp-content/uploads/2019/03/EFICIENCIA-ENERGETICA-PARA-PYMES.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ENER-2014. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5379138&fecha=22/12/2014
- Guirao, S. (2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. *Ene* 9(2). <https://dx.doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002>
- ISO. (2011). ISO 50001:2011 Energy management systems-Requirements with guidance for use.
- Organización de Estados Americanos (OEA). (2012). Guía para la realización de auditorías energéticas en pequeñas y medianas empresas en el marco del programa de eficiencia energética. Recuperado de https://www.energiasostenible.org/sites/default/files/energiasostenible/recursos/2016/GUIA_PARA_LA_REALIZACION_DE_AUDITORIAS_ENERGETICAS_EN_PEQUENAS_Y_MEDIANAS_EMPRESAS.pdf
- Pinzón, E. (2016). Análisis de la eficiencia energética en las pequeñas y medianas empresas del sector manufacturero de Bucaramanga. *Revista Ciencias Estratégicas*, 24(34), 157-172. Recuperado de <http://revistas.uautonoma.edu.co/index.php/cientifica/article/view/1303>
- Sánchez, C. (2014). Propuesta de metodología para auditorías energéticas en la PYME. *Revista de Investigación Académica*, 24, 1-15. Recuperado de <http://www.uacj.mx/ICB/Publicaciones/RINAC/2014/24%201/RINAC%2024%201%2001-15.pdf>.

