



**Acompañamiento en el estudio y ejecución de nuevas alternativas para el plan de acción de ahorro energético en el área de mantenimiento eléctrico de la empresa Enka de Colombia.**

David Guillermo Londoño Escalante

Informe de práctica Correspondiente a semestre de industria para optar al título de Ingeniero  
Electricista

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Doctor (PhD) en Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Antioquia

Juan Fernando Cadena Florez, Ingeniero electrónico  
Enka de Colombia

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Eléctrica  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2024

Cita	Londoño Escalante [1]
<b>Referencia</b> Estilo IEEE (2020)	[1] D. G. Londoño Escalante, “Acompañamiento en el estudio y ejecución de nuevas alternativas para el plan de acción de ahorro energético en el área de mantenimiento eléctrico de la empresa Enka de Colombia”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Centro de documentación ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio Cesar Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

“Todas las borrascas que nos suceden son señales de que presto ha de serenar el tiempo y han de sucedernos bien las cosas. Ya que no es posible que el mal ni el bien sean durables y de allí se sigue que habiendo durado mucho el mal el bien está ya cerca.” Miguel de Cervantes.

A mi familia que siempre me apoyó, en especial a mi madre por quien llegar hasta aquí tuvo sentido.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la empresa Enka de Colombia y a su grupo de electricidad e instrumentación por permitirme ser parte de su equipo. A esos profesores que en este camino me enseñaron que no todo lo explica una ecuación. Y en especial a mis amigos, aquellos que fueron luz en los momentos más oscuros.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. OBJETIVOS .....	12
A. Objetivo general .....	12
B. Objetivos específicos .....	12
III. MARCO TEÓRICO .....	13
IV. METODOLOGÍA .....	19
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	24
VI. CONCLUSIONES .....	43
REFERENCIAS .....	44

## LISTA DE TABLAS

TABLA I REQUISITOS DE ILUMINACIÓN DE AMBIENTES, AREAS DE TRABAJO Y ACTIVIDADES INTERIORES.....	18
TABLA II MEDIDAS DE LAS HORAS DE TRABAJO EN UNA SEMANA PARA LA ZONA 1.....	21
TABLA III MEDIDAS DE LAS HORAS DE TRABAJO EN UNA SEMANA PARA LA ZONA 2.....	22
TABLA IV MEDIDAS DE LAS HORAS DE TRABAJO EN UNA SEMANA PARA LA ZONA 3.....	22
TABLA V DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIA ZONA 1.....	24
TABLA VI DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIA ZONA 2. ....	25
TABLA VII DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIA ZONA 3.....	26
TABLA VIII CONSOLIDADO DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIAS ZONAS 1, 2 Y 3. ....	27
TABLA IX HORAS DE TRABAJO RESISTENCIAS ZONAS 1 SIN VENTILACIÓN FORZADA.....	30
TABLA X CONSOLIDADO COSTO DE ENERGIA PARA AMBOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO.....	32
TABLA XI RECUENTO DE LUMINARIAS ANTIGUAS ALMACÉN. ....	33
TABLA XII COSTO DE ENERGÍA MENSUAL ILUMINACIÓN ANTIGUA ALMACÉN.....	33
TABLA XIII INFORMACIÓN TÉCNICA LUMINARIA LED A INSTALAR.....	35
TABLA XIV RECUENTO DE LUMINARIAS NUEVAS ALMACÉN.....	36
TABLA XV RECUENTO DE LUMINARIAS NUEVAS ALMACÉN.....	37
TABLA XVI COSTO DE ENERGÍA MENSUAL ILUMINACIÓN NUEVA ALMACÉN. ....	37
TABLA XVII CONSOLIDADO COSTO INSTALACIÓN NUEVA A 5 AÑOS .....	38
TABLA XVIII INFORMACION TECNICA DE TRANSFORMADORES E2 Y E8.....	40

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Extrusora 50 - 108.....	14
Fig. 2. Vista en planta de la extrusora 50 - 108.....	14
Fig. 3. Vista en planta de la extrusora 50 - 108.....	14
Fig. 4. Distribución de zonas de calentamiento extrusora 50-108. ....	15
Fig. 5. Diagrama de cableado del calentador. ....	15
Fig. 6. Diagrama de conexión relés de estado sólido zona 1. ....	16
Fig. 7. Partes de una luminaria fluorescente. ....	17
Fig. 8. Partes de una luminaria de vapor de sodio.....	17
Fig. 9. Luminaria tipo High Bay. ....	18
Fig. 10. Alcance del sistema de gestión de energía.....	19
Fig. 11. SCADA de la extrusora 50 – 108. ....	20
Fig. 12. Horómetro LT1 / LC1 Series. ....	21
Fig. 13. Distribución de luminarias almacén.....	23
Fig. 14. Variación del tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 1. ....	25
Fig. 15. Variación del tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 2. ....	26
Fig. 16. Variación del tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 3. ....	27
Fig. 17. Total horas de trabajo en las resistencias 1, 2 y 3.....	28
Fig. 18. Temperatura en la zona 1 de la extrusora antes de la desconexión del ventilador. ....	29
Fig. 19. Temperatura en la zona 1 de la extrusora luego de la desconexión del ventilador.....	29
Fig. 20. Comparativo horas de trabajo zona 1 con y sin sistema de ventilación forzada.....	30
Fig. 21. Ledvance High bay 200W .....	35
Fig. 22. Vista del modelo del almacén en Dialux Evo.....	35
Fig. 23. Distribución lumínica en Dialux Evo. ....	36
Fig. 24. Comparación de costos por instalación y mantenimiento a 5 años. ....	39
Fig. 25. Comparación de costos de energía a 5 años.....	39
Fig. 26. Diagrama unifilar subestación CPU transformador E8. ....	41
Fig. 27. Diagrama unifilar subestación Chiller transformador E3. ....	42

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>PET</b>	Tereftalato de polietileno
<b>LED</b>	Light Emiting Diode
<b>kW</b>	Kilo Vatios
<b>hp</b>	Horse power (caballos de fuerza)
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>V</b>	Voltios
<b>THD</b>	Distorsión armónica total
<b>FP</b>	Factor de potencia
<b>Em</b>	Iluminancia media
<b>Uo</b>	Uniformidad
<b>UGR</b>	Índice de deslumbramiento
<b>Ra</b>	Índice de reproducción cromática
<b>Párr.</b>	Párrafo
<b>PhD</b>	Philosophiae Doctor
<b>PBQ-SF</b>	Personality Belief Questionnaire Short Form
<b>PostDoc</b>	PostDoctor
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## RESUMEN

Las estrategias de ahorro energético se han convertido en objetivo fundamental para las empresas en los últimos años. Tener claridad en cuanto a la cantidad de energía requerida para llevar a cabo un proceso, es en la mayoría de los casos el paso inicial para emprender acciones de optimización e implementación de estrategias que se traduzcan en ahorro de recursos económicos que representen valor para las compañías.

Es este el caso de la empresa Enka de Colombia, allí se vienen estudiando ciertas estrategias e iniciativas de ahorro energético desde las diferentes áreas de producción. El presente proyecto tiene como objetivo, acompañar el proceso de análisis, estructuración y posible implementación de las estrategias de ahorro, enmarcadas en el área de electricidad e instrumentación.

El acompañamiento se realizara por medio de acciones que aporten al progreso de cada una de las iniciativas de ahorro planteadas. Concretamente se realizaran mediciones en sitio, análisis de cantidades, cálculos de consumo energético y el diseño preliminar o detallado de los ejecutables en los casos que apliquen.

Este proceso pretende ayudar a la empresa a tener claridad en cuanto a la viabilidad de las iniciativas, con miras a una ejecución eficaz en los casos en los cuales se contemplen beneficios económicos representativos.

***Palabras clave* — Ahorro energético, Resistencias de calentamiento, inducción electromagnética, luminarias LED.**



## ABSTRACT

Energy saving strategies has become a fundamental objective for companies in recent years. Having clarity regarding the amount of energy required to carry out a process is, in most cases, the initial step to undertake optimization actions and implementation of strategies that translate into savings of economic resources that represent value for companies.

This is the case of the Enka de Colombia, where certain energy saving strategies and initiatives are being studied from the different production areas. The objective of this project is to accompany the process of analysis, structuring and possible implementation of saving strategies, framed in the area of electricity and instrumentation.

The support will be carried out through actions that contribute to the progress of each of the proposed savings initiatives. Specifically, on site measurements, quantity analysis, energy consumption calculations and the preliminary or detailed design of the executables will be carried out in the cases that apply.

This process aims to help the company have clarity regarding the viability of the initiatives, with a view to effective execution in cases in which representative economic benefits are contemplated.

***Keywords* — Energy savings, heating resistors, electromagnetic induction, LED luminaires.**

## I. INTRODUCCIÓN

El área de mantenimiento eléctrico de la empresa Enka de Colombia pertenece a la gerencia de ingeniería. En esta área se trabajan todos los temas relacionados con suministro de energía eléctrica, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de equipos, así como el diseño y dimensionamiento de los sistemas de control necesarios para el funcionamiento de las líneas de producción de las distintas plantas que componen la empresa.

Enka se ha convertido en los últimos años en una empresa líder en la fabricación de materias primas para diferentes productos por medio del reciclaje de botellas PET. Actualmente la empresa cuenta con cuatro plantas de reciclaje de botellas PET, siendo la más moderna la planta A97, en esta última se lleva a cabo un proceso del cual se obtiene materia prima para la fabricación de nuevas botellas para la industria alimenticia.

El proceso de reciclaje que se hace en cada una de las plantas antes mencionadas consiste, a grandes rasgos, en triturar las botellas de material PET, realizar un lavado de este material según sea su uso al final del proceso y posteriormente calentarlo a altas temperaturas en máquinas extrusoras en las cuales se le da forma de hilo para luego ser cortado en gránulos. Las máquinas extrusoras cumplen un papel fundamental en el proceso, ellas son las encargadas de aprovechar el material PET y convertirlo en un elemento reutilizable. Las altas temperaturas necesarias para este proceso se consiguen por medio de resistencias de calentamiento conectadas en serie a lo largo de la máquina.

El nivel de temperatura necesario para el proceso, varía según la cantidad y tipo de material presente en el sistema, esto teniendo en cuenta que aunque las botellas procesadas son PET, algunas tienen características diferentes como el color, el tipo de etiqueta y el tipo de tapa. Esta variabilidad del sistema hace necesario un control que mantenga el valor de temperatura adecuado para el momento que se requiera. Actualmente, las máquinas extrusoras de las plantas de la empresa cuentan con un control ON – OFF que consiste en encender o apagar el sistema de resistencias cuando se aplican cambios en las señales de control por cambios en las variables del sistema. Este tipo de control tiene algunas desventajas en cuanto al funcionamiento y la confiabilidad de los equipos en términos de la vida útil. Esto se explica dado que al someter las resistencias a repetidas variaciones de tensión, sus partes mecánicas experimentan dilatación y contracción constante lo que ocasiona en muchos casos daños por ruptura de las piezas que

constituyen el cuerpo de la resistencia. Esto representa pérdidas a la empresa ya que obliga no solo a reemplazar las piezas dañadas sino también a realizar paros inesperados de la producción. En los últimos años, la empresa ha generado estrategias para reducir gastos. Y en el marco de dichas estrategias se tiene un modelo llamado “Action plan” en el cual cada una de las áreas de la empresa debe implementar acciones medibles y verificables que generen un ahorro en términos económicos. El modelo de “Action plan” se puede analizar bajo la norma ISO 50001. Esta norma es un referente internacional para la gestión energética y ofrece un marco sólido para que las organizaciones optimicen el consumo energético, traducándose en un ahorro significativo de costos. El enfoque sistemático de la ISO 50001 establece una estructura para la gestión energética que garantice que no se trate de acciones aisladas, sino de estrategias integrales y sostenibles. Para el área de electricidad e instrumentación, el foco está direccionado hacia las alternativas de ahorro en energía eléctrica. Para concretar las acciones se han propuesto cuatro alternativas en las cuales se pretende analizar la viabilidad económica. Un trabajo de prácticas como el presentado en esta ocasión pretende acompañar desde el análisis metodológico y cuantitativo las alternativas planteadas, que son a grandes rasgos las siguientes: En primer lugar se plantea una alternativa al sistema de calentamiento de la una de las maquinas extrusoras de la empresa, sistema que actualmente se compone de resistencias y que se espera pueda ser reemplazado por un sistema de calentamiento por inducción electromagnética. Este nuevo sistema da la posibilidad de reducir el desgaste prolongado que sufren las resistencias del modelo actual, y se espera que esto represente un beneficio económico para la empresa. La segunda alternativa consiste en evaluar la conveniencia que puede tener la desconexión de uno de los transformadores que presta servicio en la planta, este transformador cuenta con una cargabilidad baja y se presume que dichas cargas pueden ser consignadas a otro circuito, sin que esto represente una afectación en el suministro energético de las máquinas de la planta, así como el respaldo ante contingencias. Por último se planea acompañar el proceso de cambio de luminarias fluorescentes y de sodio por tecnología LED. Esta puede ser una de las acciones más tangibles teniendo en cuenta el tamaño de la empresa y la cantidad de luminarias que aún se encuentran en uso.

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Acompañar el proceso de análisis e implementación de las alternativas planteadas para el plan de acción de ahorro energético en el área de mantenimiento eléctrico.

### *B. Objetivos específicos*

Realizar un estudio cuantitativo sobre el posible ahorro energético generado por el cambio en el sistema de calentamiento de la extrusora 50 – 108.

Liderar el proceso de cambio de luminarias a tecnología LED en determinadas zonas de la planta y cuantificar el ahorro por reemplazo.

Cuantificar el ahorro generado por la implementación de un sistema de control con unidades tiristorizadas y el reemplazo de un transformador de la planta.

---

### III. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo se pensó desde una serie de conceptos que toman relevancia a la hora de explicar cada uno de los objetivos planteados. A continuación se desarrollan dichos conceptos.

**Proceso de extrusión:** En la industria química un proceso de extrusión hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir una sección transversal constante y de longitud indefinida [1].

**Calentamiento por inducción electromagnética:** El calentamiento por inducción electromagnética es un método ampliamente utilizado en la industria, cuando se requiere calentamiento o fundición de metales en atmosferas controladas [2]. Este proceso se puede modelar mediante la utilización de las leyes de Faraday, Ampere y la aplicación del efecto Joule. En términos generales, para lograr un aumento de la temperatura en un material conductor, se requiere en primera instancia generar un campo magnético de amplitud considerable y variable en el tiempo [3]. El calentamiento de un material que se disponga bajo la influencia de este campo electromagnético se da por las corrientes conocidas como corrientes de Foucault.

**Extrusora 50 – 108:** Como se cita en la introducción de este trabajo, en la empresa Enka de Colombia se encuentran en operación varias máquinas extrusoras. La extrusora 50 – 108 está ubicada en el área de fibras, está dispuesta de forma horizontal y cuenta con cinco zonas de calentamiento por medio de resistencias de tipo abrazadera cuya potencia total es de 18 kW. Cada zona tiene un ventilador externo que permite refrigerar las unidades de control de la máquina como se muestra en la Figura 1. Un motor de 215 hp es el encargado de hacer girar el tornillo extrusor a lo largo de la máquina. A él se acopla un reductor Lufkin DH225D-811 que reduce la velocidad de giro del eje del motor de 1750 rpm a 100 rpm, aumentando de esta manera el torque del sistema con el fin de poder transportar la totalidad del material (polímero) a través de la máquina. Las Figuras 2 y 3 hacen referencia a las vistas superior y lateral de la máquina, en ellas se puede evidenciar mejor tanto la distribución como la ubicación de cada uno de sus componentes principales.



Fig. 1. Extrusora 50 - 108.

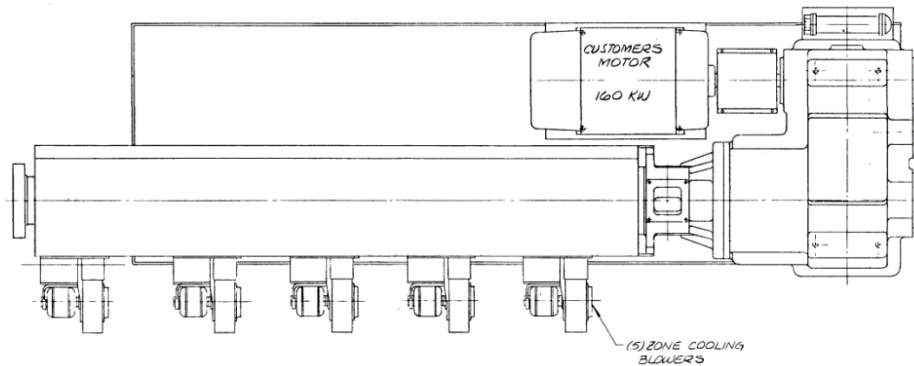


Fig. 2. Vista en planta de la extrusora 50 - 108.

Nota: fuente sistema de información diseño Enka de Colombia: Somerset Technologies. Inc. Extruder Layout.

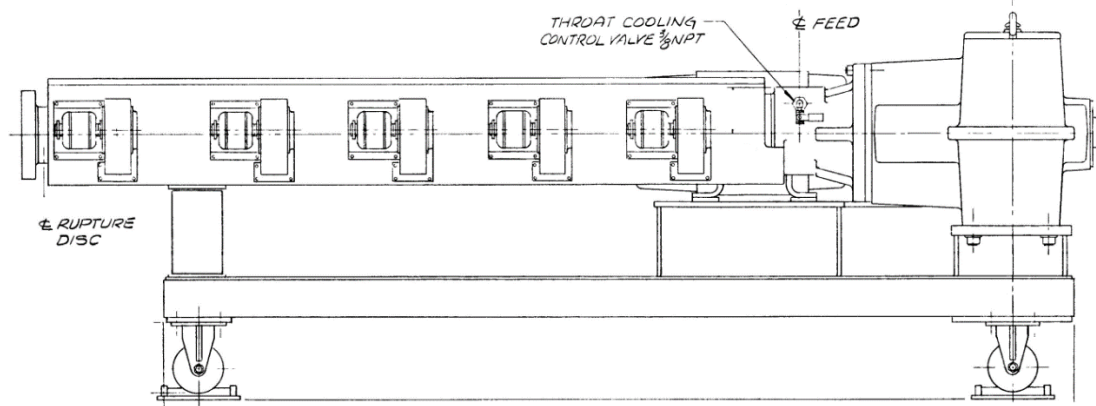


Fig. 3. Vista en planta de la extrusora 50 - 108.

Nota: fuente sistema de información diseño Enka de Colombia: Somerset Technologies. Inc. Extruder Layout.

Para cada una de las zonas de calentamiento mencionadas se tienen 3 resistencias de calentamiento cada una de 6 kW, y un total de 18 kW por zona. En la Figura 4 se muestra la distribución de cada resistencia dentro de cada zona de calentamiento y las medidas que hacen parte de todo el sistema dentro de la extrusora.

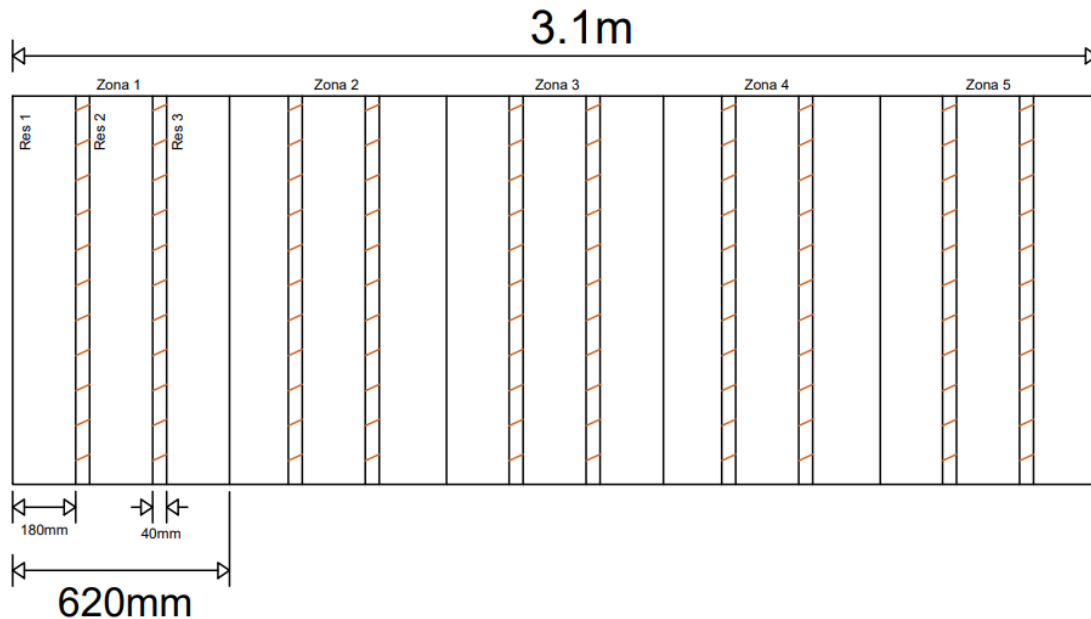


Fig. 4. Distribución de zonas de calentamiento extrusora 50-108.

La Figura 5, muestra el diagrama de cableado del sistema de calentamiento en cada zona de la extrusora. Cada resistencia de calentamiento tiene una potencia de 6 kW y cada unidad de calentamiento se compone de tres de estas resistencias, cada una acoplada a una pieza cerámica encargada de contener el calor generado. Por último se tiene el motor ventilador para refrigerar el sistema. Cada unidad de calentamiento se alimenta a 440 V.

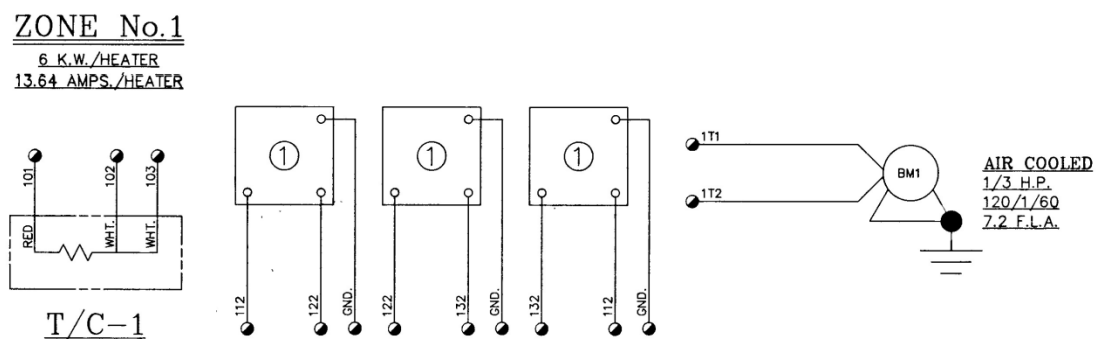


Fig. 5. Diagrama de cableado del calentador.

Nota: fuente sistema de información diseño Enka de Colombia: Somerset Technologies. Inc. Extruder Layout.

El control del sistema de calentamiento se hace por medio de un controlador PID con relés de estado sólido, la Figura 6 muestra el diagrama de conexión de los relés encargados del control de la zona 1 de calentamiento. Cada resistencia tiene asociado un relé de los antes mencionados y estos se conectan en serie entre sí.

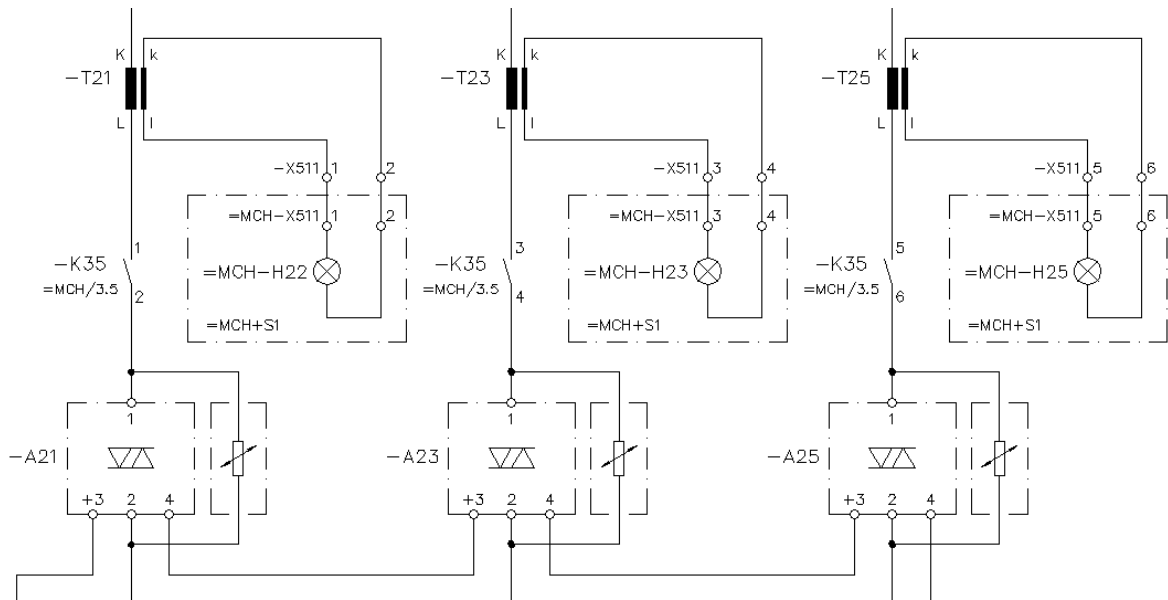


Fig. 6. Diagrama de conexión relés de estado sólido zona 1.

Nota: fuente Sistema de información diseño Enka de Colombia. Zona 1 50-108.

En el diagrama anterior los relés se identifican como A21, A23 y A25. La entrada de cada unidad se establece en el pin +3 y la salida en el pin 4, de esta manera se puede identificar claramente el tipo de conexión entre ellos. Cabe resaltar que no es muy común encontrar sistemas de control de este tipo en los cuales los relés estén conectados en serie. Más adelante tomara relevancia este tipo de conexión, cuando se deba acoplar equipo de medición en cada una de las zonas de calentamiento.

**Lámparas fluorescentes:** Las lámparas fluorescentes producen la luz debido a que existe una descarga eléctrica que excita el gas (vapor de mercurio y argón) contenido en un tubo, generando una radiación sobre todo el campo de la luz ultravioleta. Tales radiaciones se dirigen hacia la sustancia fluorescente dispuesta en las paredes internas del tubo y se transforma en energía luminosa visible [4]. Figura 7.



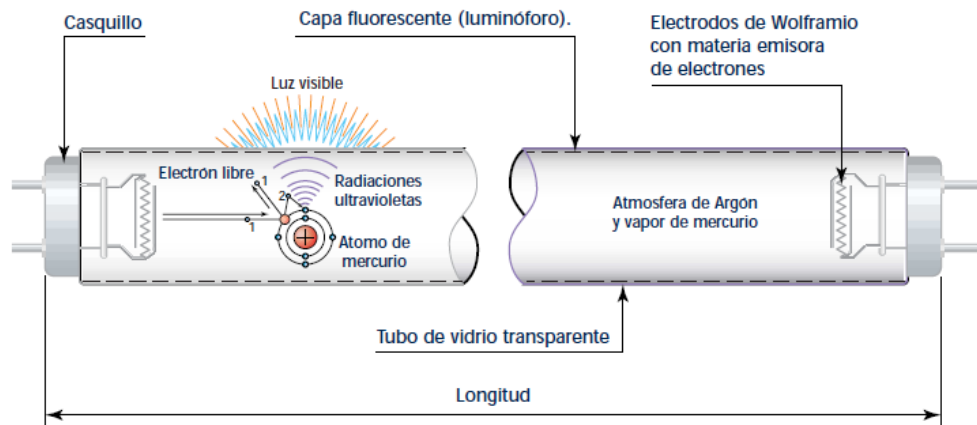


Fig. 7. Partes de una luminaria fluorescente.

Nota: fuente Área tecnológica: Tubo fluorescente.

**Lámpara de vapor de Sodio:** Es una lámpara de descarga de alta intensidad que opera a baja presión y usa Sodio como vapor. Tiene un tubo de arco con los electrodos en un mismo extremo y se coloca dentro de un bulbo de vidrio que contiene mezcla de argón y metal de sodio. En la medida en que este se calienta y vaporiza, se produce el color ámbar del sodio. Este tipo de lámpara tiene una alta eficiencia respecto a cualquier otro tipo [5]. Figura 8.

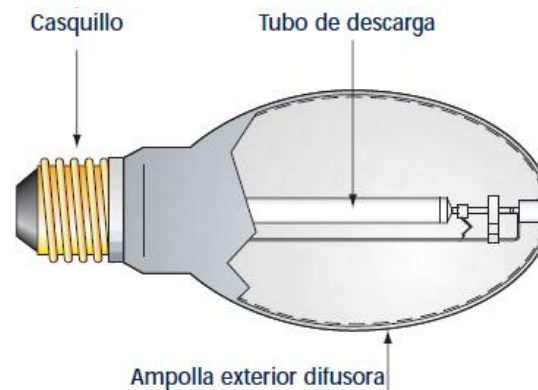


Fig. 8. Partes de una luminaria de vapor de sodio.

Nota: fuente Efimarket: Lámpara de vapor de sodio de alta presión.

**Luminarias High Bay:** La sección 2.9.4 del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público – RETILAP, abarca este tipo de luminarias. Este tipo de luminarias se utilizan generalmente para la iluminación de lugares muy altos tales como bodegas o lugares comerciales. Generalmente están suspendidas en un sistema de guayas. Para efectos de cumplimiento del reglamento solo se permite el uso de luminarias High Bay de tecnología LED [6]. Figura 9.



Fig. 9. Luminaria tipo High Bay.

Nota: fuente RETILAP: Luminaria tipo High Bay.

### Requisitos lumínicos para áreas de almacén o bodegas

Tomando como base el RETILAP, se tienen en cuenta los valores mínimos requeridos de las variables lumínicas para zonas de Almacén o bodegas de gran tamaño [7], Tabla I.

TABLA I  
REQUISITOS DE ILUMINACIÓN DE AMBIENTES, ÁREAS DE TRABAJO Y ACTIVIDADES INTERIORES.

Logística y almacenes	Em [Lx]	Uo	Ra	UGR
Almacenamiento en estante	75	0.4	80	-

Nota: RETILAP. Requisitos de iluminación de ambientes, áreas de trabajo y actividades interiores.

**Transformador de potencia:** Los transformadores se definen como máquinas estáticas que tienen la misión de transmitir, mediante un campo electromagnético alterno, la energía eléctrica de un sistema, con determinada tensión, a otro sistema con tensión deseada. [8]

**Subestación CPU:** La subestación CPU hace parte de la planta que lleva el mismo nombre en la empresa Enka de Colombia. Es la encargada de suministrar energía a la planta por medio de los transformadores F4 de 1600 kVA, R4 de 1600 kVA y E8 de 1000 kVA. Esta subestación está acoplada al sistema de emergencia que se alimenta por medio de plantas diésel.

**Subestación Chiller:** La subestación Chiller concentra el mayor número de transformadores de la empresa Enka de Colombia. Está dividida en dos zonas. La zona 1 cuenta con cuatro transformadores de potencia. Y la zona dos cuenta con seis transformadores de potencia entre los cuales se encuentra el E3 que tiene una potencia de 800 kVA.

#### IV. METODOLOGÍA

Con el fin de dar un correcto desarrollo a los objetivos planteados en el proyecto, se realizan una serie de actividades de la mano del personal encargado en las zonas de ejecución y de la asesoría de los tutores asignados para cada tarea. De esta manera se recopilan aquí las actividades realizadas.

Los cálculos de ahorro energético se realizaron tomando en cuenta el precio del kWh establecido por la generación de la central termoeléctrica de la empresa y no con respecto al precio del kWh establecido por el operador de red.

El desarrollo de este proyecto se dio siguiendo una metodología PHVA. Esta metodológica se expone en la norma ISO 50001 como un enfoque para la mejora continua de los procesos y la ejecución de iniciativas de ahorro energético. El ciclo comprende cuatro etapas que son: Planificar, hacer, verificar y actuar [9].



Fig. 10. Alcance del sistema de gestión de energía.

Nota: fuente NQA: Guía de implantación de sistemas de gestión de energía.

Tal como lo muestra la Figura 10, un sistema de gestión energético para una industria, inicia con una planificación que está ligada a su vez con un proceso de identificación de las necesidades y problemas internos que puedan existir en la empresa. Continúa con soporte y operación en un marco de análisis y evaluación de las características y variables necesarias para construir la idea de mejora, para concluir en una ejecución de la misma. Tomando esto como base se propone en adelante explorar y analizar las tres iniciativas de ahorro planteadas como objetivos de este trabajo.

### Fase exploratoria iniciativa de ahorro 1:

Inicialmente se propone analizar la viabilidad de sustituir el sistema de calentamiento de la extrusora. Para ello es importante determinar en principio cuanto es el tiempo de trabajo en horas de las zonas de calentamiento de la máquina.

Por medio del sistema SCADA de la planta, se puede realizar seguimiento a los procesos en tiempo real. La Figura 11 muestra los valores de las variables más relevantes en la extrusora 50-108 para el día 3 de abril a las 3 de la tarde. Allí se pueden ver los valores de temperatura para las 5 zonas de calentamiento, cuyos valores están en un promedio de 297°C aproximadamente, a su vez, también se puede ver la velocidad a la cual está girando el motor del extrusor, en este caso esta velocidad fue de 85,3rpm. De igual forma se evidencia el valor de la corriente total demandada por la extrusora que para el momento de la imagen fue de 284,1A. Por último se tiene otro valor de temperatura que corresponde a la zona de salida de la máquina, es decir, por donde sale el material luego del proceso de extrusión, camino al pos tratamiento para convertirlo en hilo o fibra. Esta zona es importante ya que evidencia la temperatura a la cual está sometida la máquina, y puede dar indicios de fallos en el funcionamiento de los ventiladores y el sistema de refrigeración.

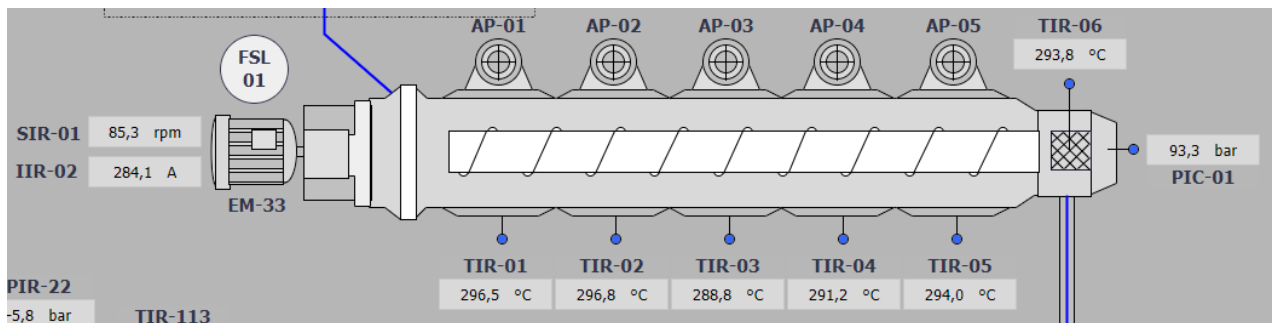


Fig. 11. SCADA de la extrusora 50 – 108.

*Nota.* Fuente Departamento de electricidad e instrumentación Enka de Colombia. SCADA Maquinas de hilar.

Para determinar el tiempo de trabajo de cada resistencia de calentamiento de la extrusora. Se instala un Horómetro LT1 / LC1 Series, en paralelo con la parte DC de los relés de las zonas 1, 2 y 3. Los resultados de la medición se consignan a continuación. Figura 12.



Fig. 12. Horómetro LT1 / LC1 Series.

Nota. Fuente <http://www.ssint.com.mx>

En la Tabla II se muestra el resumen de horas de trabajo para la zona 1, el Horómetro fue instalado el día lunes 29 de enero, en paralelo con cada uno de los tres relés de la zona. La zona 1 tiene una particularidad. Allí llega el granulo de polímero a una temperatura ambiente que debe ser superada, para esto se requiere gran cantidad de energía con el fin de llevar el material a la temperatura indicada que para el caso de la medición correspondió a un set point de 300°C. El voltaje de los relés era 14,4 V.

TABLA II  
MEDIDAS DE LAS HORAS DE TRABAJO EN UNA SEMANA PARA LA ZONA 1.

Día de la medición	Horas de trabajo	Hora de la medida	Set point	Voltaje
27	0h y 0min	10:12 a.m.	300°	14.4 VDC
28	1h y 29min	09:15 a.m.	280°	-
2	48h y 36min	09:53 a.m.	300°	14.7 VDC
3	67h y 45min	09:29 a.m.	300°	14.75 VDC
4	109h y 2min	10:10 a.m.	300°	-

La Tabla III contiene los resultados de las mediciones de horas de trabajo para la zona 2. Para esta zona el set point de temperatura era 300°C y el voltaje en los relés de 17,7 V.

TABLA III  
MEDIDAS DE LAS HORAS DE TRABAJO EN UNA SEMANA PARA LA ZONA 2.

Día de la medición	Horas de trabajo	Hora de la medida
4	0h y 0min	10:15 a.m.
5	1h y 57min	10:01 a.m.
6 a 9	14h y 30min	09:27 a.m.
10	18h y 51min	09:24 a.m.
11	22h y 33min	10:18 a.m.
12	25h y 56min	09:07 a.m.

La tabla IV contiene los resultados de las mediciones de horas de trabajo para la zona 3. El set point de temperatura se mantuvo en 300°C. Durante la instalación del Horómetro en esta zona se evidenció que una de las fases del sistema estaba fuera de servicio, luego se determinó que uno de los fusibles se encontraba abierto y se procedió a reemplazarlo para poder continuar con la medición.

TABLA IV  
MEDIDAS DE LAS HORAS DE TRABAJO EN UNA SEMANA PARA LA ZONA 3.

Día de la medición	Horas de trabajo	Hora de la medida
13	0h y 0min	09:25 a.m.
14	7h y 39min	10:24 a.m.
15	10h y 54min	10:28 a.m.
16	14h y 14min	10:05 a.m.
17	17h y 43min	09:52 a.m.

### **Fase exploratoria iniciativa de ahorro 2:**

Para el desarrollo de la segunda iniciativa de ahorro se iniciaron labores de levantamiento en campo, con el fin de cuantificar las luminarias presentes en sitio y que serían susceptibles a reemplazo. Posteriormente se realizaron cálculos de potencia instalada y se determinó el tipo de luminaria LED adecuada para el reemplazo. La Figura 13 muestra la distribución de las luminarias presentes en la bodega almacén de la empresa, allí se hace distinción entre luminarias fluorescentes T5 y T8. Teniendo los datos preliminares de tipo y ubicación en sitio de las

luminarias se procedió a consolidar los resultados del análisis metodológico, estos resultados se muestran en la siguiente sección de este trabajo.

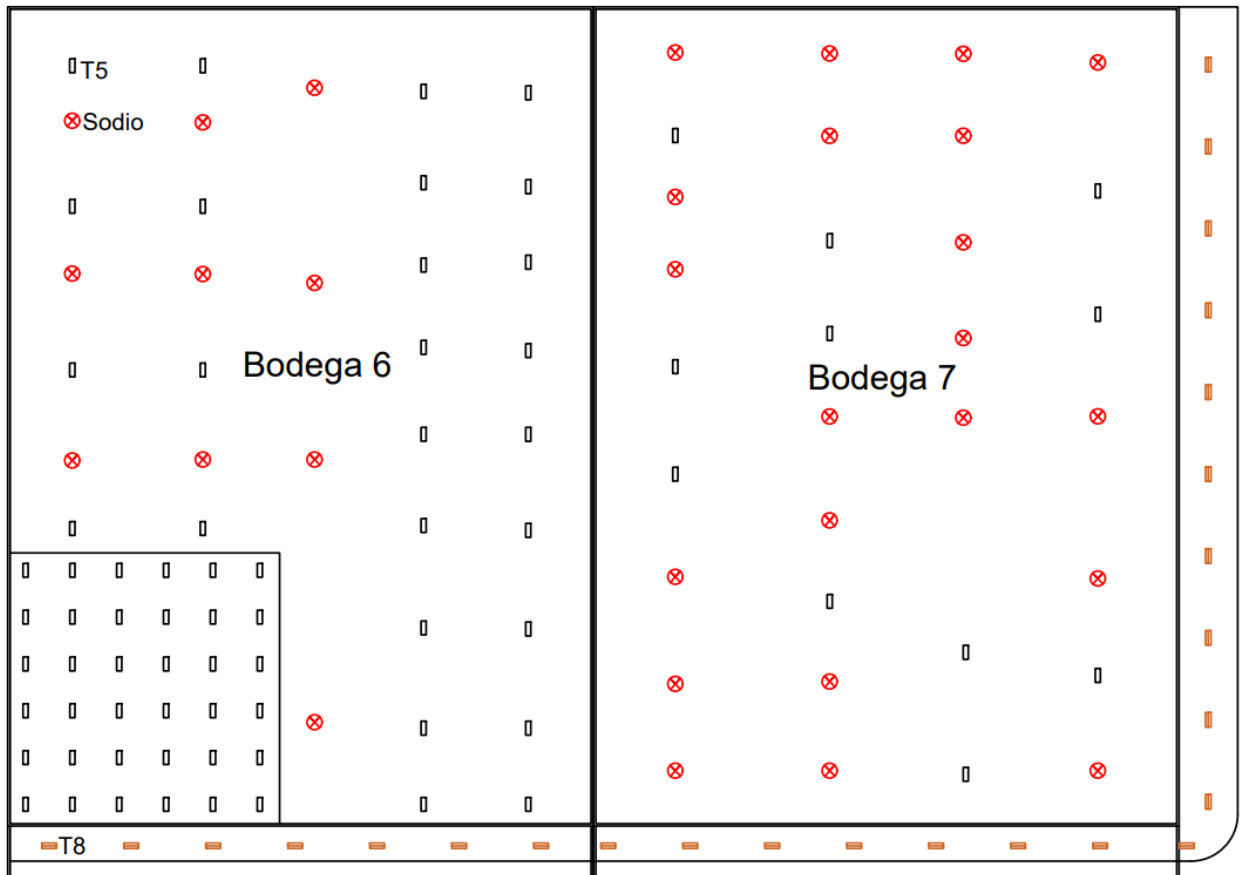


Fig. 13. Distribución de luminarias almacén.

### Fase exploratoria iniciativa de ahorro 3:

La iniciativa de ahorro que se planteó en tercer lugar tiene que ver con el cambio de un transformador de potencia de la planta que presenta fallas por mal estado de algunos de sus componentes físicos. El proceso que se pudo realizar para esta iniciativa fue netamente exploratorio y más adelante en el informe se presentan los resultados de dicha exploración con miras a una ejecución posterior fuera del alcance de este proyecto.

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Iniciativa de ahorro 1:

A continuación, se revisan los datos recopilados en las mediciones para la iniciativa 1. En la Tabla V se encuentran agrupados los valores de trabajo de la resistencia de la zona 1 tomados durante una semana de trabajo. En esta zona se exige más temperatura a la resistencia dado que es la entrada del material que viene en condiciones de temperatura ambiente. Es decir, el set point de temperatura de esta zona será el más alto entre las demás zonas.

TABLA V  
DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIA ZONA 1.

Día de la medición	Tiempo en minutos	Tiempo en horas
0	0	0
1	89	1.48
2-4	2827	47.11
5	1149	19.15
6-7	2477	41.28

La exigencia de temperatura a cada resistencia se traduce en cambios más lentos en la conmutación de la unidad de control tiristorizada, es decir, la resistencia en la zona uno tendrá que permanecer más tiempo en estado ON o encendido y menos tiempo apagada.

Los tiempos de trabajo fueron recopilados diariamente. La Figura 14 muestra la distribución de frecuencias de tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 1, allí se evidencia que después del día 1 los tiempos se estabilizan en valores de 1000 minutos o 16 horas de trabajo al día.



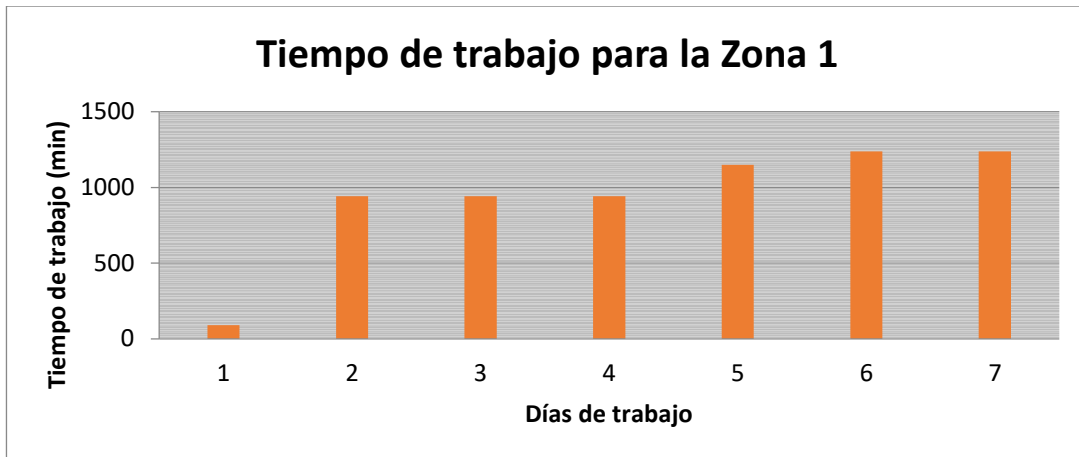


Fig. 14. Variación del tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 1.

La Tabla VI agrupa los valores de trabajo de la resistencia de la zona 2 durante una semana de trabajo. Inicialmente se esperaba determinar si existe una variación significativa en los tiempos de trabajo entre las resistencias de la zona 1 y 2. En la tabla VI se evidencia una disminución en los valores de trabajo en minutos por día. La Figura 15 muestra gráficamente la disminución dichos valores, encontrando un promedio de 200 minutos de trabajo diarios en la zona dos.

TABLA VI  
DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIA ZONA 2.

Día de la medición	Tiempo en minutos	Tiempo en horas
0	0	0
1	117	1.95
2-5	753	12.55
6	261	4.35
7	222	3.7
8	203	3.38

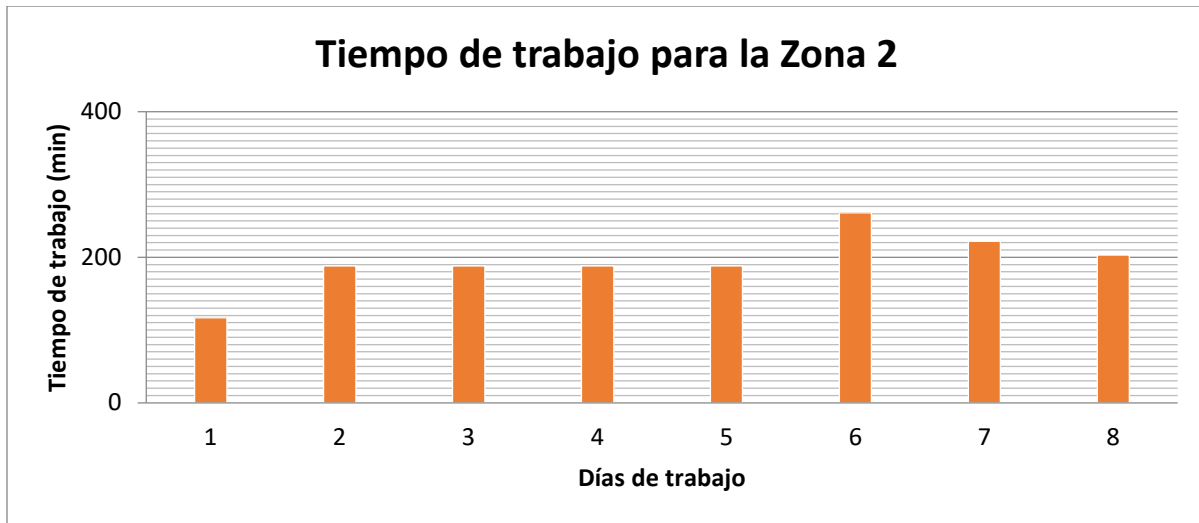


Fig. 15. Variación del tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 2.

De igual manera para la zona 3 se analizan en la Tabla VII los tiempos de trabajo respectivos, en esta zona se evidencia aún más la disminución en el total de minutos trabajados cada día. La Figura 16 hace referencia a este hecho de manera gráfica ubicando un promedio de 150 minutos de trabajo por día aproximadamente.

TABLA VII  
DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIA ZONA 3.

Día de la medición	Tiempo en minutos	Tiempo en horas
0	0	0
1-3	459	7.65
4	195	3.25
5	200	3.33
6	209	3.48

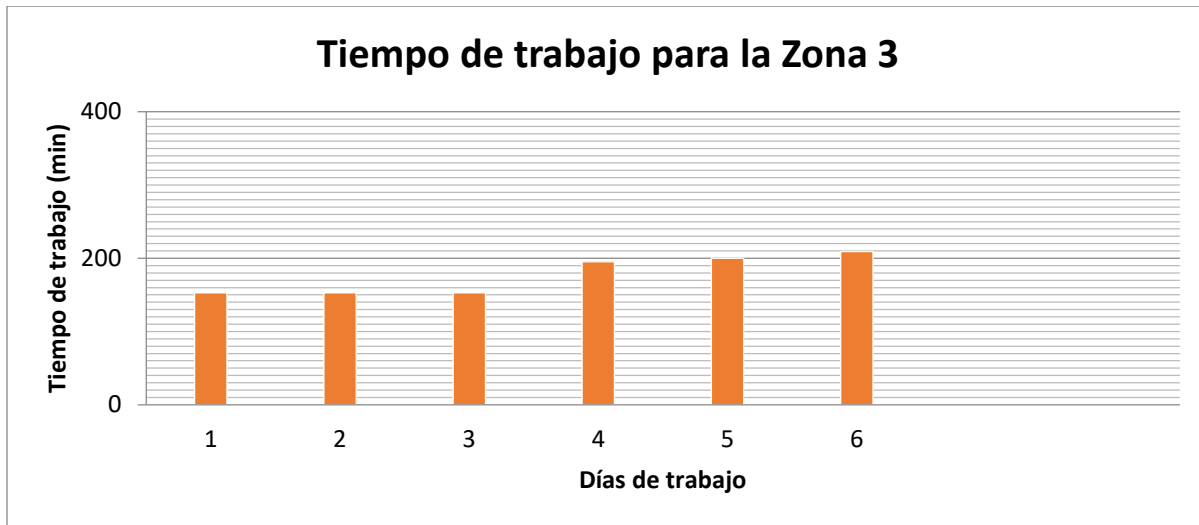


Fig. 16. Variación del tiempo de trabajo para la resistencia de la zona 3.

Para proseguir con el análisis de los resultados obtenidos en las mediciones, la Tabla VIII pretende totalizar las horas de trabajo de cada resistencia con el fin de establecer cuál de estas presenta más exigencia en términos de tiempo de servicio.

TABLA VIII  
CONSOLIDADO DE HORAS DE TRABAJO RESISTENCIAS ZONAS 1, 2 Y 3.

Zona	Tiempo en minutos	Tiempo en horas
1	6541	109
2	1556	25.09
3	1063	17.1

La Figura 17 muestra claramente el desbalance en tiempo de trabajo entre las tres resistencias. En 7 días de mediciones, la resistencia de la zona 1 permaneció encendida 109 horas, esto se traduce en aproximadamente 4.5 días de trabajo de los 7 analizados. En la zona dos el total de horas trabajadas fue 25.09, lo que representa poco más de un día de trabajo de los 7 analizados. Por último para la zona 3 se evidencia un total de 17.1 horas, esto representa menos de un día de trabajo de los 7 analizados.

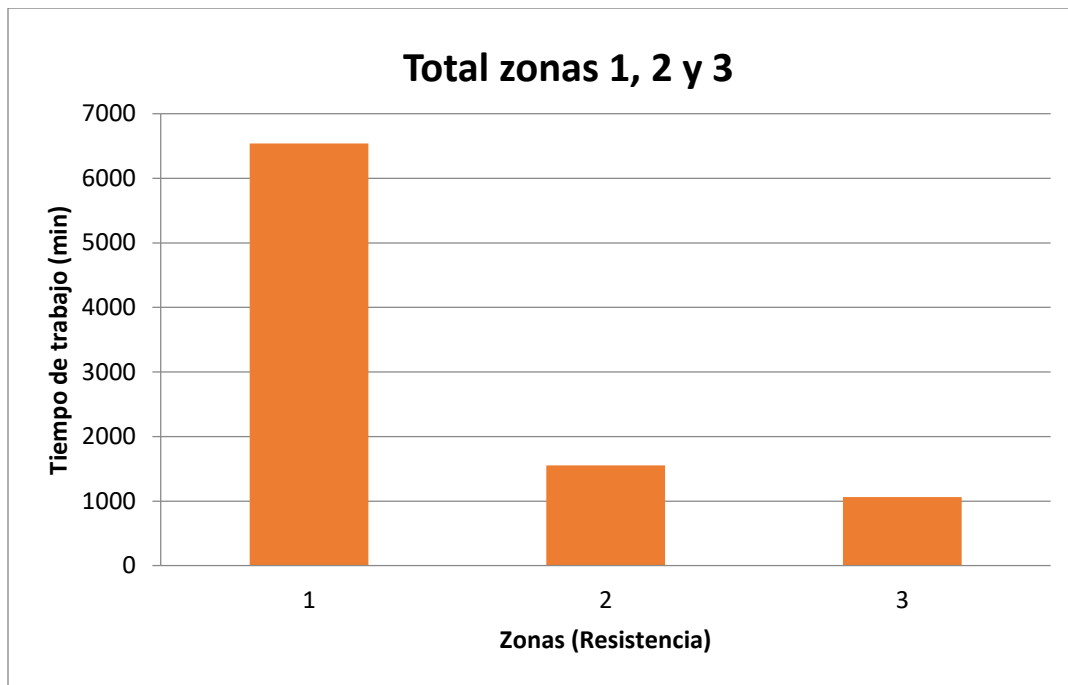


Fig. 17. Total horas de trabajo en las resistencias 1, 2 y 3.

Para continuar el estudio de viabilidad de la propuesta se propuso una variación en las condiciones de trabajo de la extrusora. Este cambio consistió en desconectar una de las unidades de ventilación forzada de la máquina, más específicamente el ventilador de la zona 1. Esta desconexión se realizó con el fin de analizar el comportamiento del sistema de control de temperatura ante dicho cambio. El día 6 de mayo se realizó la desconexión del ventilador en horas de la tarde. La Figura 18 muestra el comportamiento de la variable temperatura de la zona 1 antes y después de la desconexión. La curva de color rojo nos indica que en ese momento la temperatura se mantenía estable en un valor cercano a 299 °C.

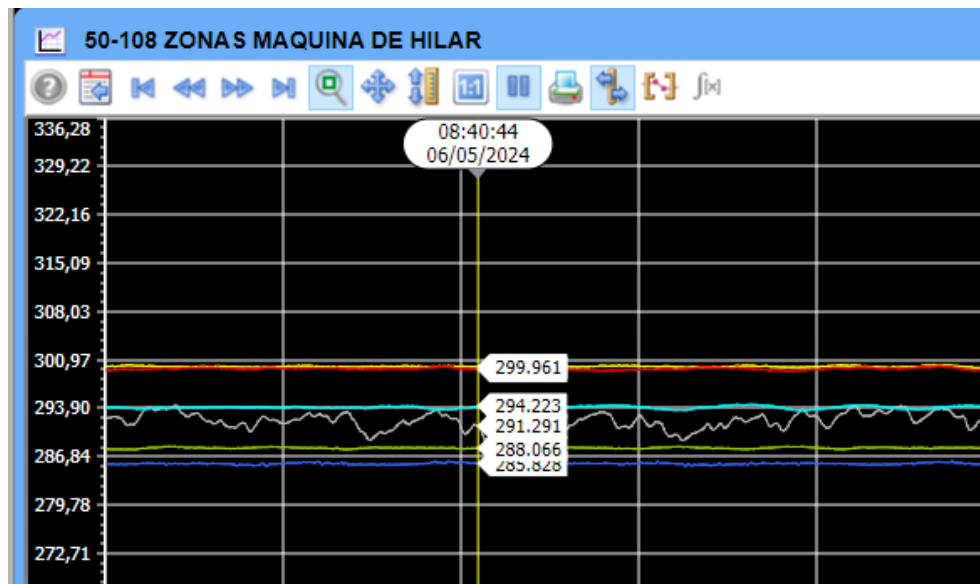


Fig. 18. Temperatura en la zona 1 de la extrusora antes de la desconexión del ventilador.

La Figura 19 muestra el comportamiento de la temperatura en la zona 1 luego de desconectar el ventilador. El resultado inmediato fue una pequeña oscilación de la temperatura que se mantuvo en el tiempo mientras el ventilador permaneció desconectado. Durante ese tiempo se identificó que el rango de oscilación de temperatura no era significativo para el proceso y se mantuvo monitoreada la variable con el fin de establecer si el sistema podía permanecer estable ante los cambios en las condiciones de ventilación forzada, lo que indicaría un correcto funcionamiento en los parámetros del controlador PID de la máquina.

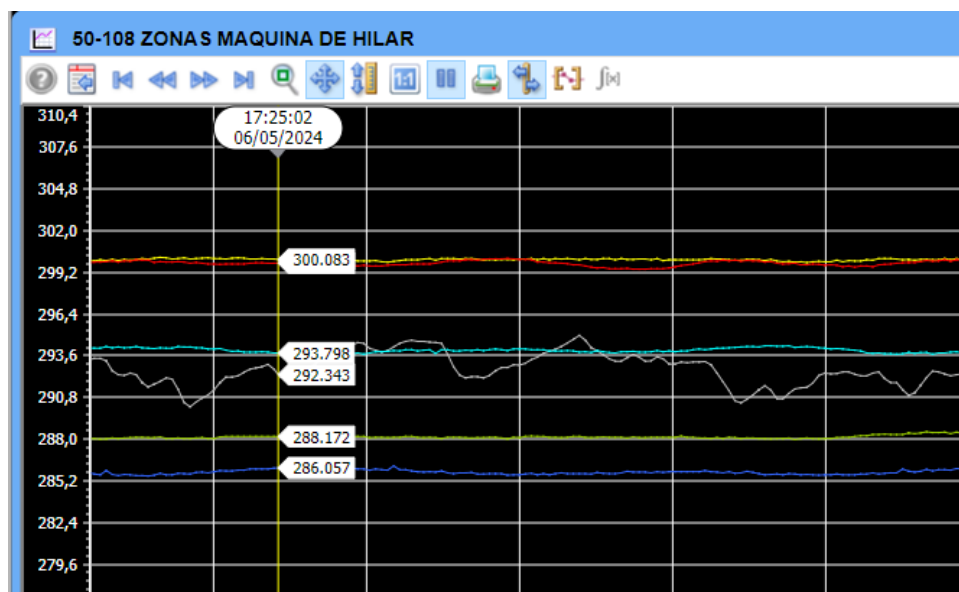


Fig. 19. Temperatura en la zona 1 de la extrusora luego de la desconexión del ventilador.

Tomando como base lo anterior, se procedió a realizar el mismo análisis de horas de trabajo pero esta vez solo para la zona 1 sin ventilación forzada. Nuevamente se instaló el Horómetro en paralelo con los relés de estado sólido de la zona. La muestra ocupó 8 días de trabajo de la zona 1, el mapeo o seguimiento de los datos no se hizo de una forma tan rigurosa como el análisis inicial, solo se tomaron datos del primer y último día de trabajo. La Tabla IX muestra dichos datos.

TABLA IX  
HORAS DE TRABAJO RESISTENCIAS ZONAS 1 SIN VENTILACIÓN FORZADA.

Día	Tiempo en minutos	Tiempo en horas
1	220	3.7
2-8	5880	98

La Figura 20 relaciona la cantidad de horas de trabajo de la zona 1 con y sin ventilación forzada, allí se observa un incremento en las horas cuando la unidad tiene acoplado el ventilador, es decir el sistema responde de mejor manera en términos de ahorro energético por funcionamiento de las resistencias cuando se omite la ventilación de la zona 1.

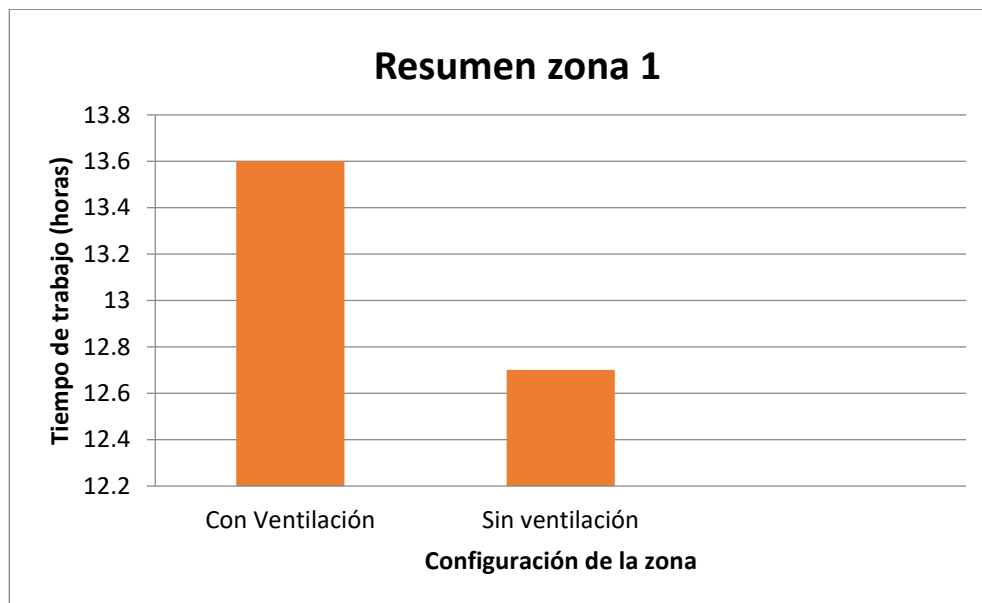


Fig. 20. Comparativo horas de trabajo zona 1 con y sin sistema de ventilación forzada

La decisión de desconectar el ventilador de la zona 1 se tomó pensando en el gasto energético que representa tener el ventilador funcionando las 24 horas del día y no solo cuando se requiera. Esto se explica de la siguiente forma. El control de temperatura se realiza por medio de

---

un controlador PID que busca siempre estar en el valor de temperatura impuesto como set point, esto se logra encendiendo o apagando las resistencias de cada zona según sea el valor en el cual se encuentre la temperatura en un momento dado. El sistema de ventilación forzada ayuda a seguir este set point cuando la temperatura está por encima del punto que se requiere, ayudando a las resistencias a bajar su temperatura en menor tiempo. Pero también puede representar una fuente de distorsión en el escenario contrario, es decir cuando el sistema requiere aumentar su temperatura, en este caso, si la ventilación está constantemente activa el sistema necesitará un tiempo mayor para alcanzar el nivel requerido.

Para resumir los cálculos realizados anteriormente y dar conclusiones acerca de la viabilidad de la instalación. Se propone el siguiente análisis. Los datos recopilados anteriormente, fueron el material entregado a la empresa contratista encargada del diseño del sistema de inducción. En días posteriores dicha empresa entregó los datos de potencia consumida para un periodo de tiempo igual al calculado para el sistema actual de resistencias, de allí se procedió a comparar los valores totales del costo de energía para ambos sistemas. Cabe resaltar que a la potencia de las resistencias de calentamiento se suma la potencia del sistema de ventilación forzada. Tabla X.

Con base en el análisis de horas de trabajo con y sin ventilación forzada, se logró establecer que instalar un sistema de calentamiento por inducción solo sería viable para la zona 1, esto teniendo en cuenta que los tiempos de trabajo de dicha zona son evidentemente altos comparados con el tiempo de las demás zonas, de esta manera se reduce la iniciativa de ahorro a cambiar únicamente una zona de calentamiento de la extrusora 50-108.

El cálculo de la potencia para el sistema de inducción se realiza a través de una serie de pruebas en sitio por parte del diseñador donde se establece la cantidad de corriente demandada por el sistema para cada nivel de temperatura requerido y según las especificaciones físicas del material que se debe calentar. Según la empresa contratista consultada para el dimensionamiento de este sistema, para máquinas extrusoras de material polimérico con características similares a la 50-108, típicamente se tienen valores de corriente que representan potencias próximas a un 70% del consumo convencional con resistencias. Este valor se utilizó para calcular el valor de consumo de energía por mes con cada uno de los sistemas. Tabla X.

TABLA X  
CONSOLIDADO COSTO DE ENERGIA PARA AMBOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO.

Sistema	Horas de trabajo día	Potencia [kW]	Consumo mes [\$]
Resistencias	12.7	18.45	1'509.750
Inducción	12.7	13.2	1'106.424

El cambio del sistema de calentamiento representa un ahorro en términos de consumo, pero el tiempo de retorno de la inversión es alto, la ejecución de esta iniciativa queda sujeta a decisiones administrativas de la empresa.

El cálculo de retorno a la inversión para el sistema de calentamiento se realizara en los trabajos futuros sobre este proyecto, tomando como base el costo por diseño y fabricación que se espera entregué el contratista luego de terminadas todas las pruebas necesarias en sitio. Para ese momento se podrá comparar dicho valor con la suma del ahorro mensual por consumo de energía calculado en la Tabla X.

### **Iniciativa de ahorro 2:**

El segundo bloque de acción de las iniciativas de ahorro energético abordó la propuesta de cambio de luminarias fluorescentes y de sodio en las zonas de la planta en las cuales se encontraban instaladas gran cantidad de estas. De forma preliminar se realizó un recorrido por uno de los sitios de mayor concentración de luminarias, con el fin de identificar la cantidad, el tipo y los circuitos que proveen energía a dichas zonas. A su vez, también se identificó el espacio a iluminar con miras a realizar el análisis de cuales luminarias LED podrían cumplir con los niveles de luminancia requeridos para el tipo de trabajo realizado en la zona.

El sitio objeto de análisis fue la bodega donde encuentra el almacén de la empresa, se escogió este espacio dadas las dimensiones del mismo y la gran cantidad de luminarias requeridas para su iluminación. Este espacio debe contar con una iluminación adecuada a las actividades y el tipo de materiales que allí se disponen. En la Tabla XI se encuentra el resumen de cantidades de las luminarias a reemplazar.



TABLA XI  
RECuento DE LUMINARIAS ANTIGUAS ALMACÉN.

Tipo de luminaria	Potencia [W]	Cantidad [Unid]	Potencia total consumida [kW]
Sodio	250	33	8.25
Tubo (T5)	54	148	8
Tubo (T8)	32	26	0.83
<b>Total</b>		207	17.08

Como se evidencia en la Tabla XI la bodega cuenta con 207 luminarias en total distribuidas entre sodio y fluorescentes, la potencia instalada es de 17.08 kW. También se realizaron consultas con el personal a cargo de esta bodega con el fin de establecer el tiempo de uso de las luminarias. De esta forma se identificó que las luminarias trabajan en promedio 12 horas cada día, dado que la estructura del techo cuenta con espacios para la entrada de luz lo que evita el uso constante de estas durante el día. Al ser un sistema de iluminación, se tiene que el factor de utilización de 1 es decir las luminarias mientras se encuentren encendidas estarán trabajando al 100% de su potencia, por lo tanto el cálculo de energía consumida se realiza con el producto de la potencia total consumida por el tiempo en horas de trabajo y posteriormente se expresa para un periodo mensual.

TABLA XII  
COSTO DE ENERGÍA MENSUAL ILUMINACIÓN ANTIGUA ALMACÉN.

Tipo de luminaria	Potencia consumida [kWh]	Valor kWh [\$]	Costo [\$]
Sodio	8.3	220	653,400
Tubo (T5)	8.1	220	632,966
Tubo (T8)	0.83	220	65,894
<b>Total</b>			1'312,261

La Tabla XII muestra el valor en pesos de la energía consumida por las luminarias del almacén. El cálculo se realizó para un periodo mensual. Este resultado se debió contrastar con el

cálculo aproximado del costo de energía utilizando las luminarias LED que se eligieron para el replazo.

Las lámparas incandescentes de tipo T5 y T8 tienen una vida útil promedio de 10,000 horas, por su parte las lámparas de vapor de sodio tienen una vida útil de 8,000 horas. Teniendo en cuenta esto se calculó el costo de reposición por daño de estas lámparas en un periodo de tiempo de 5 años.

$$\text{Horas consumo anual} = 12 \text{ horas} * 365 \text{ dias} = 4380 \text{ horas} \quad (1)$$

En un periodo de 5 años el valor de horas consumidas será:

$$\text{Horas consumo a 5 años} = 4380 \text{ horas} * 5 \text{ años} = 21900 \text{ horas} \quad (2)$$

De aquí se tiene que para un periodo de 5 años en condiciones de funcionamiento ideal de las luminarias, estas se tendrían que reemplazar dos veces si son fluorescentes y alrededor de tres veces si son de vapor de sodio y esto tendría un costo total asociado si se tiene en cuenta el precio promedio de este tipo de luminarias de:

$$\text{Costo reemplazo en 5 años} = (12,000 * 33 * 2) + (18,000 * 148 * 2) + (12,000 * 26 * 2)$$

$$\text{Costo reemplazo en 5 años} = \$ 6'038.400 \quad (3)$$

Teniendo en cuenta el análisis previo, se procede a plantear la alternativa de iluminación nueva con luminarias LED. Para este proceso se propuso una referencia de luminaria marca LEDVANCE High Bay de 200 W cuyas características de fábrica la hacen especial para uso en bodegas y sitios de almacenaje de elementos de gran tamaño. La Tabla XIII y la Figura 21, resumen las características técnicas y el aspecto físico de la luminaria elegida [10].

TABLA XIII  
INFORMACIÓN TÉCNICA LUMINARIA LED A INSTALAR

Datos Eléctricos		Datos Fotométricos	
Potencia	200 W	Flujo luminoso	20000 lm
Tensión	220 V	Eficacia luminosa	100 lm/W
Frecuencia	60 Hz	Temperatura	6500 K
THD	20%	Tono de luz	Blanco frio
FP	0.9	Ra	>80



Fig. 21. Ledvance High bay 200W

*Nota.* Fuente <http://www.ledvance.es>

El siguiente paso del proceso consistió en determinar la disposición física de las luminarias con el fin de establecer de qué forma podría ser iluminada correctamente el área del almacén de la empresa, y el número total de luminarias nuevas que se precisan para ello. Este análisis se realizó mediante el software Dialux Evo. Figura 22.

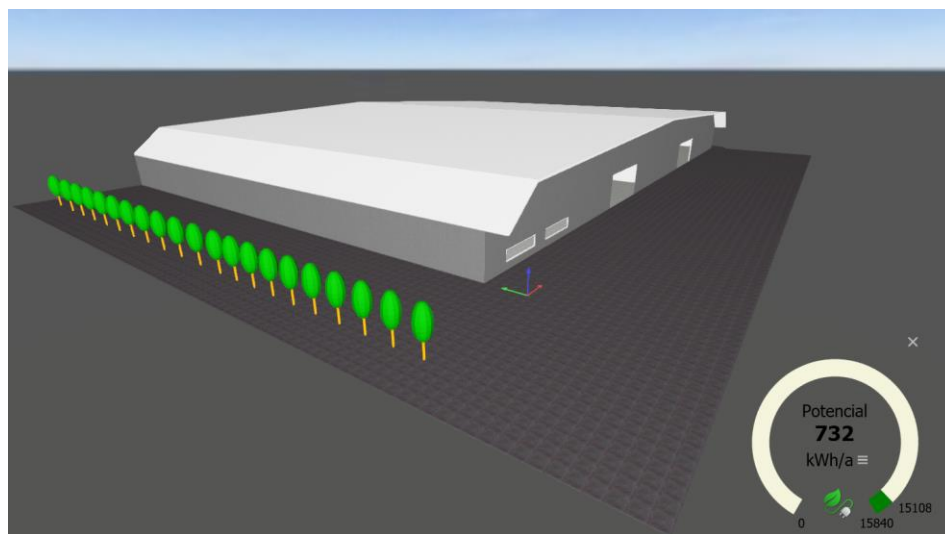


Fig. 22. Vista del modelo del almacén en Dialux Evo.

Según el reglamento técnico de iluminación, en áreas de bodegas y almacenaje de productos con estantes de gran tamaño, se debe garantizar una luminancia media de 75 lx en la zona frontal de los estantes en sitio, con el fin de permitir el correcto accionar del personal encargado. La Figura 23 muestra la distribución lumínica del espacio del almacén modelada en dialux.

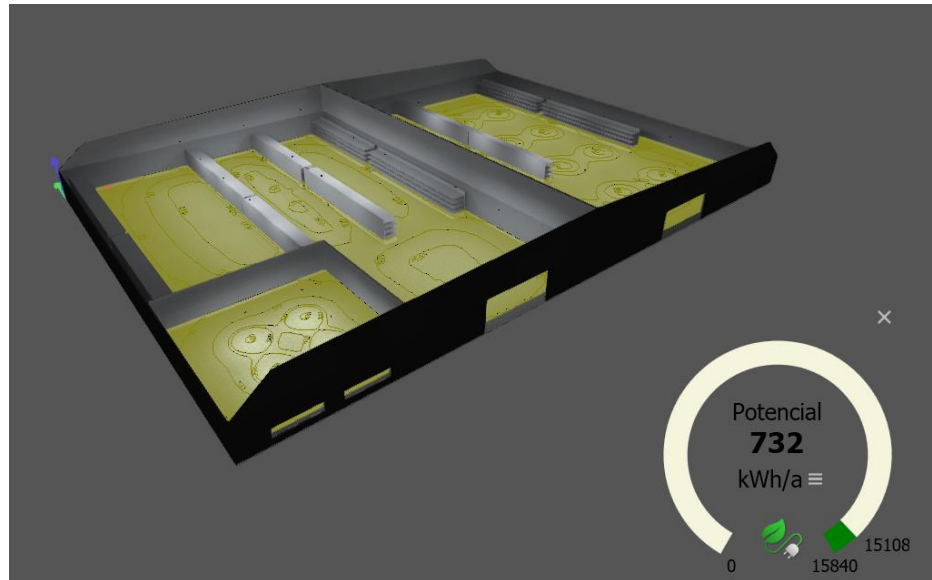


Fig. 23. Distribución lumínica en Dialux Evo.

Los resultados obtenidos en la simulación se encuentran recopilados en la Tabla XIV, allí se evidencia el cumplimiento de los valores mínimos exigidos para este tipo de instalación.

TABLA XIV  
RECuento DE LUMINARIAS NUEVAS ALMACÉN.

Sitio	Em [Lx]	Uo	UGR
Bodega 6	75	0.4	25
Bodega 7	75	0.4	25

Según la información recopilada del fabricante, las luminarias LED elegidas tienen una vida útil promedio de 50000 horas. Teniendo en cuenta esto se realizó el cálculo de consumo de energía con la nueva iluminación LED.

TABLA XV  
RECuento DE LUMINARIAS NUEVAS ALMACÉN.

Tipo de luminaria	Potencia [W]	Cantidad [Unid]	Potencia total consumida [kW]
LED	200	22	4.4
<b>Total</b>		22	4.4

La Tabla XV muestra el recuento de las luminarias nuevas a instalar en el área de estudio y la potencia total que estas representan. La tabla XVI consolida el costo de energía que tendrá asociado dicha instalación para un periodo mensual.

TABLA XVI  
COSTO DE ENERGÍA MENSUAL ILUMINACIÓN NUEVA ALMACÉN.

Tipo de luminaria	Potencia consumida [kWh]	Valor kWh [\$]	Costo [\$]
LED	4.4	220	348,480
<b>Total</b>			348,480

El costo promedio aproximado de las luminarias LED elegidas para la instalación, ronda los \$ 350,000. El costo de reposición por daño de las luminarias nuevas para un periodo de 5 años será entonces:

$$\text{Horas consumo a 5 años} = 4380 \text{ horas} * 5 \text{ años} = 21900 \text{ horas} \quad (4)$$

De aquí se tiene que para un periodo de 5 años en condiciones de funcionamiento ideal de las luminarias, estas no se tendrían que reemplazar. Sin embargo, no se debe dejar de lado el posible deterioro de las luminarias por condiciones ambientales dado el tipo de espacio en el cual serán instaladas. De esta manera se propuso calcular un factor de cambio de luminarias que cubra los posibles daños asociados a dichas condiciones.

$$FC = \frac{\# \text{ luminarias}}{3} = \frac{22}{3} = 7.3 \quad (5)$$

El costo de reemplazo aplicando este factor será:

$$\text{Costo reemplazo en 5 años} = 350,000 * 7.3 \text{ (6)}$$

$$\text{Costo reemplazo en 5 años} = \$ 2'555,000 \text{ (7)}$$

El costo total de la instalación con las nuevas luminarias a 5 años, será entonces. Tabla XVII.

TABLA XVII  
CONSOLIDADO COSTO INSTALACIÓN NUEVA A 5 AÑOS

Concepto	Valor [\\$]
Instalación	7'700,000
Mantenimiento	2'555,000
<b>Total</b>	<b>10'255,000</b>

Para resumir los cálculos realizados anteriormente y dar conclusiones acerca de la viabilidad de la instalación. Se propone el siguiente análisis. La Figura 24, muestra el costo de instalación y mantenimiento del sistema LED y del sistema antiguo. Se evidencia que la inversión inicial para el sistema nuevo es elevada respecto del sistema antiguo. A su vez la Figura 25 muestra una comparación entre el costo de energía de los dos sistemas, allí es claro como el costo de la energía consumida con luminarias antiguas es muy elevado respecto de la instalación nueva con luminarias LED. De esta información se puede concluir que de implementar la iniciativa de ahorro, se tendría un retorno de la inversión inicial en un plazo de 10 meses aproximadamente.

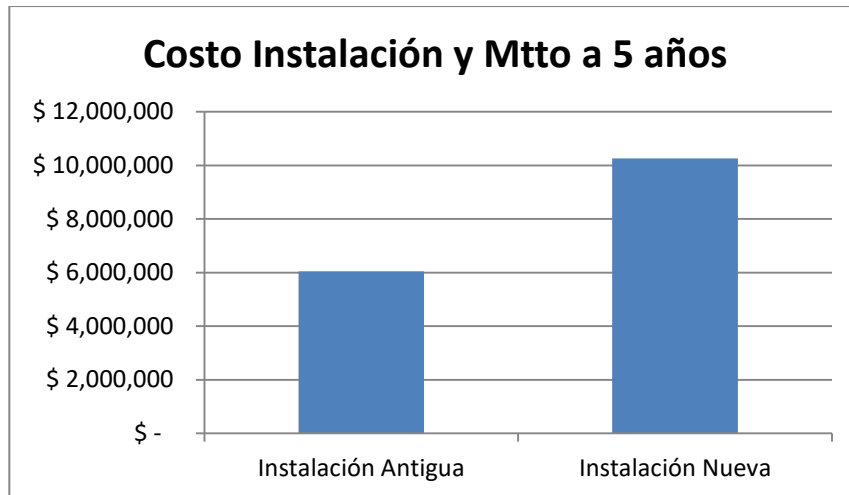


Fig. 24. Comparación de costos por instalación y mantenimiento a 5 años.

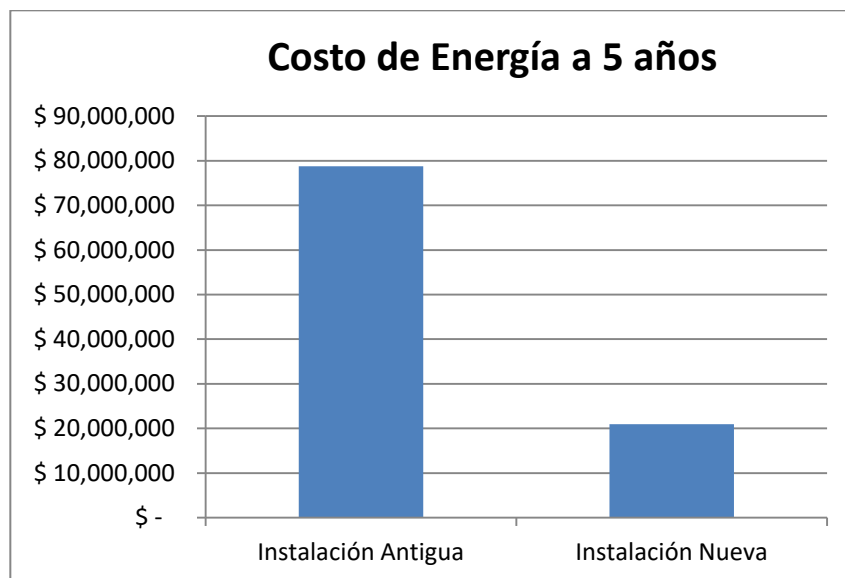


Fig. 25. Comparación de costos de energía a 5 años.

Con base en la información anterior se puede concluir que al implementar la iniciativa de ahorro, se tendría un retorno de la inversión inicial en un plazo de 10 meses aproximadamente. Este análisis concluye que la iniciativa de cambio de luminarias en las bodegas del almacén de la empresa es económicamente viable.

### **Iniciativa de ahorro 3:**

Los resultados obtenidos para la tercera iniciativa de ahorro son netamente exploratorios, a continuación se presentan.

Como se explicó en pasajes anteriores de este trabajo, la iniciativa 3 tiene como objeto el reemplazo de un transformador de potencia de la planta que actualmente presenta constantes fallas por deterioro de su parte estructural. Más específicamente, se han evidenciado fugas del aceite aislante por mal estado de la cuba y el sistema de cambio de taps presenta fallas mecánicas los que hace que sea difícil realizar maniobras cuando se requiere cambios en el nivel de tensión. Para corregir estas fallas se planteó la posibilidad de reemplazar dicho transformador por otro presente en la planta que en el momento no tuviera una carga significativa consignada y que a su vez dicha carga pudiera ser cubierta por otro transformador.

Los transformadores a intervenir son el E3 y el E8, la Tabla XVIII relaciona algunas de las características técnicas de cada uno de ellos.

TABLA XVIII  
INFORMACION TECNICA DE TRANSFORMADORES E2 Y E8

Transformador E3		Transformador E8	
Potencia	800 kVA	Potencia	1000 kVA
Tensión	13,2 kV / 460 V	Tensión	13,2 kV / 460 V
Año	1966	Año	1989
Marca	Siemens	Marca	Sierra
Peso	2,730 kg	Peso	3,850 kg

Se evaluaron condiciones de espacio, y teniendo en cuenta las características de ambos transformadores, se determinó viable realizar el cambio. El camino a seguir consiste en realizar un levantamiento de los circuitos asociados al transformador E8, y determinar cuáles de estos circuitos tienen cargas activas, y cuales se encuentran fuera de servicio.

Siguiendo esta ruta se hizo una identificación preliminar de las cargas asociadas al transformador E8. La Figura 26 muestra el diagrama unifilar de la subestación CPU, en ella se encuentra ubicado el transformador E8. Las cargas asociadas a ese transformador corresponden a hornos de la planta CPU y a los sistemas de regeneración de polímero. Estas cargas se encuentran actualmente fuera de servicio a causa del paro definitivo de la planta CPU, es decir estos sistemas no son necesarios en la actualidad para el funcionamiento de las demás plantas. Sin embargo al inspeccionar los medidores de energía asociados a este transformador se muestran valores de carga bajos pero que representan un consumo. La tarea que queda pendiente para seguir la



evaluación y posterior ejecución de esta iniciativa, será inspeccionar las salidas de circuito asociadas al transformador con el fin de establecer cuáles son las cargas que están generando el consumo mínimo que muestra el medidor en la subestación.

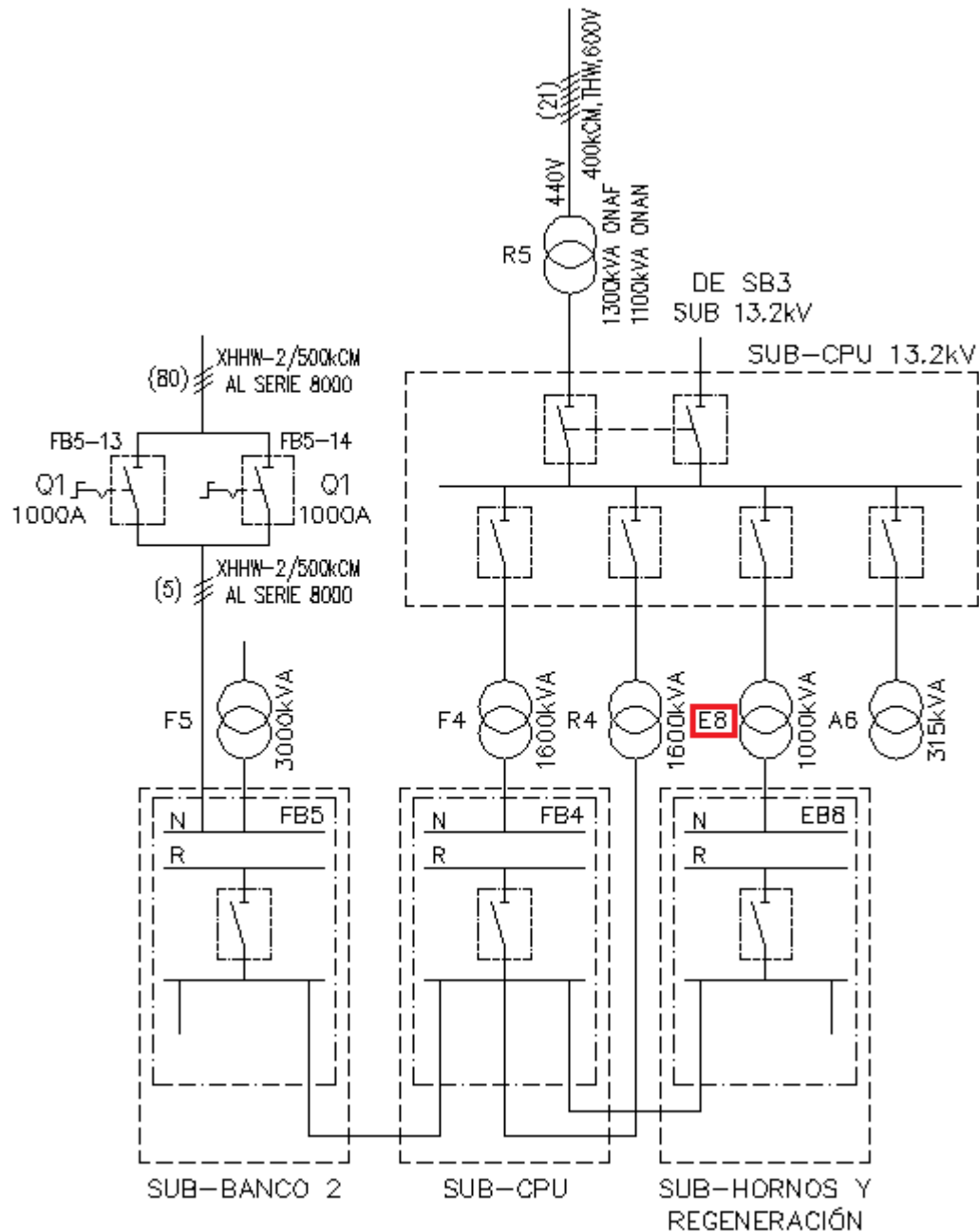


Fig. 26. Diagrama unifilar subestación CPU transformador E8.

El transformador E3 Se encuentra ubicado en la subestación Chiller 1, Figura 27. La celda de media tensión asociada a este transformador es la EB3. Para llevar a cabo la iniciativa, se debe disponer de los circuitos de emergencia mientras se realiza el cambio por el transformador E8.

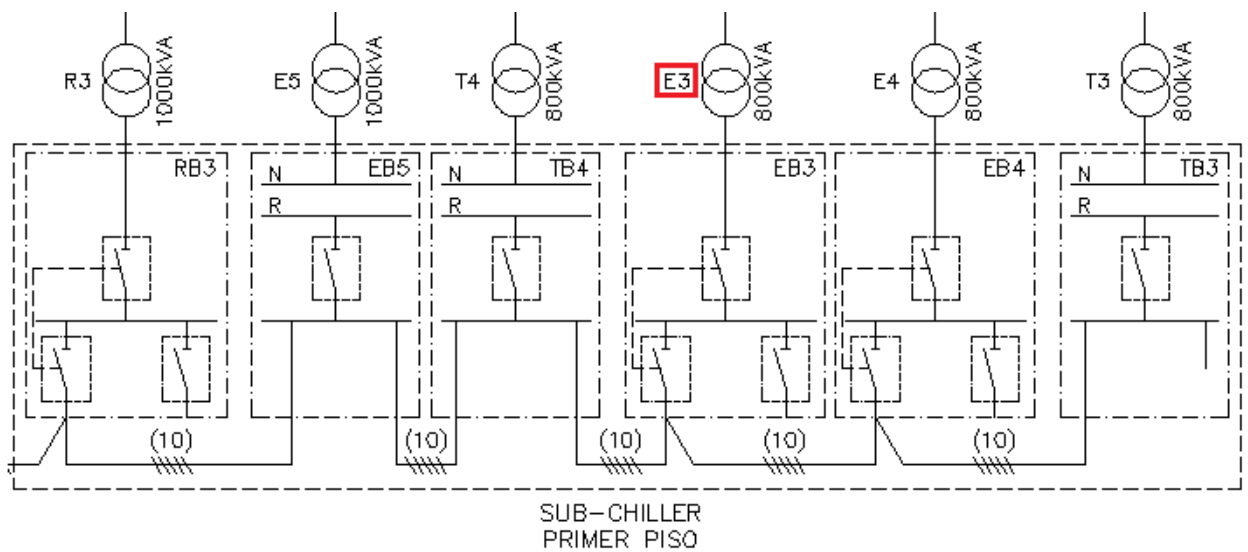


Fig. 27. Diagrama unifilar subestación Chiller transformador E3.

La iniciativa 3 queda en fase exploratoria dado que los tiempos de trabajo de la planta no permitieron ejecutar las acciones necesarias para establecer en sitio las mediciones y los análisis necesarios para la evaluación del ahorro energético generado.

---

## VI. CONCLUSIONES

El análisis de viabilidad del cambio de sistema de calentamiento, realizado durante cinco meses, permitió determinar que este tipo de sistemas presentan beneficios en términos de reducción de energía del orden de la mitad de la potencia consumida. Para el caso particular de estudio se determinó que el reemplazo era justificable en términos de tiempo de trabajo para una sola zona de calentamiento, esto hace que el ahorro energético no represente un valor económico muy significativo pero abre la puerta a continuar el análisis de alternativas similares.

El estudio del impacto para el reemplazo de luminarias con tecnologías antiguas (Incandescentes y Sodio), alcanzó a cumplir las expectativas de determinar el cambio en el valor de la energía consumida, y pudo involucrar variables como el costo de reposición por daño. Este modelo puede escalarse de forma que sea un análisis sistemático que cumpla con metodologías de eficiencia energética como la expuesta en la ISO 50001.

En términos de ahorro económico se puede concluir que las dos iniciativas estudiadas a profundidad, tenderán a representar un ahorro continuado siempre y cuando sea posible su completa ejecución, para garantizar que los costos de montaje y compra inicial de suministros sean recuperados en los plazos establecidos en el análisis.

Con cada una de las acciones realizadas para la consolidación de este trabajo final, pude aportar al desarrollo de nuevos proyectos en la empresa, y a su vez contribuir con el correcto desarrollo de las labores de producción diarias, dando soporte a las contingencias que se presentaban desde el aspecto eléctrico y de instrumentación, así como a los procesos de mantenimiento preventivo e inspecciones periódicas a equipos. De esta manera concluyo mi proceso de prácticas con satisfacción por lo aprendido y deseos de profundizar en temas relacionados con la industria.

## REFERENCIAS

- [1] L. F. Ramos, *Extrusión de plásticos. Principios Básicos*, Mexico: LIMUSA, 2013.
- [2] A. Acevedo Picón, J. Barrero Perez y J. A. Figueredo, «Calentamiento por inducción Electromagnética: Diseño y Construcción de un prototipo,» *Revista UIS Ingenierías* , vol. 6, nº 1, pp. 69-76, 2007.
- [3] A. Belendez, M. Alvarez y G. Bernabeu, «Ley de Faraday-Henry: experiencias de inducción electromagnética,» de *Experiencias de Física en Vídeo*, Alicante , 2010.
- [4] G. Enríquez Harper, *Manual Práctico Del Alumbrado*, Mexico: LIMUSA, 2003.
- [5] U. P. d. Catalunya, «Upc.edu,» [En línea]. Available: <https://grlum.dpe.upc.edu/>. [Último acceso: 11 Junio 2024].
- [6] M. d. M. y. Energia, «Requisitos de iluminación de ambientes, áreas de trabajo, tarea visual y actividades en interiores,» de *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP*, Colombia, 2024, pp. 35-42.
- [7] M. d. M. y. Energia, «FUENTES LUMINOSAS,» de *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP*, Colombia, 2024, pp. 18-72.
- [8] L. L. S.A.U., «LEDVANCE,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.ledvance.es>. [Último acceso: 11 Junio 2024].
- [9] E. R. Oliva, «Fundamentos de los transformadores de potencia,» de *Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección* , Barcelona, Marcombo, 1994, pp. 5-6.
- [10] NQA, «NQA GUÍA DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.nqa.com/>. [Último acceso: 13 Junio 2024].