

**AUDITORIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y PLAN DE  
MEJORA PARA LA EMPRESA MECANIZADOS S.A.S.**

**OMAR ANDRÉS HENAO ARCILA  
YEIMER AURELIO HINCAPIÉ BETANCUR  
OMAR ANDRÉS ORTEGA HERNÁNDEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTA DE INGENIERIA  
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y  
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2024**

**AUDITORIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y PLAN DE  
MEJORA PARA LA EMPRESA MECANIZADOS S.A.S.**

**OMAR ANDRÉS HENAO ARCILA  
YEIMER AURELIO HINCAPIÉ BETANCUR  
OMAR ANDRÉS ORTEGA HERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Supervisión de sistemas de  
generación y distribución de energía**

**Asesor Técnico**

**Jauder Alexander Ocampo Toro  
Magister en Gestión Energética Industrial**

**Asesor Metodológico**

**Bayrón Álvarez Arboleda  
Doctor en Estudios Organizacionales**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTA DE INGENIERIA  
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y  
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN**

**2024**

## **Agradecimientos**

Primeramente, le agradecemos a Dios y a nuestras familias por el apoyo incondicional durante estos 3 años de estudio. También agradecemos a la Institución Universitaria Pascual Bravo por permitirnos cumplir nuestro sueño de ser tecnólogos en sistemas de generación y distribución de energía y, por último, agradecemos a nuestro asesor técnico Bayrón Álvarez Arboleda y al metodológico Jauder Alexander Ocampo Toro por su paciencia y dedicación durante este tiempo de realización del proyecto de grado.

## Contenido

	Pág.
Introducción .....	10
1. Planteamiento del problema.....	12
1.1 Descripción.....	12
1.2 Formulación .....	12
2. Justificación .....	13
3. Objetivos .....	14
3.1 Objetivo general .....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4. Marco Teórico .....	15
4.1 Fresa Convencional y CNC.....	15
4.1.2 Componentes de una fresadora.....	17
4.1.3 Tipos de fresadoras.. .....	18
4.2 Torno convencional o CNC .....	20
4.2.1 Partes de torno mecánico.....	20
4.3 Taladro de columna.....	22
4.4 Cortadora.....	23
4.5 Soldador .....	23
4.6 Auditorias energética en iluminación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.7 Instrumentos utilizados en auditorías energéticas.....	26
4.7.1 Analizador de redes eléctricas.....	26
4.8 Tipos de auditorias energéticas .....	27
5. Metodología .....	29
6. Resultados .....	31
6.1 Caracterización de los equipos eléctricos e identificación de sus consumos.....	31
6.2 Consumo energético y distribución.....	36
6.3 Auditoria electica realizada a los motores de las maquinas .....	38
6.4 Alternativas de solución .....	41
7. Conclusiones .....	49
8. Referencias Bibliográficas .....	50

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Tipos de fresas de corte de una fresadora.....	16
Figura 2. Fresa convencional.....	16
Figura 3. Fresa CNC.....	17
Figura 4. Tipos de fresadoras según su husillo: a) fresadora horizontal; b) fresadora vertical y c) fresadora universal.....	19
Figura 5. Partes de un torno mecánico.....	21
Figura 6. Torno CNC.....	21
Figura 7. Taladro vertical convencional.....	22
Figura 8. Cortadora de aceros marca TECNO.....	23
Figura 9. Proceso de soldadura por arco eléctrico.....	24
Figura 10. Medidor de red marca Fluke.....	27
Figura 11. Motores eléctricos vs potencia consumida.....	39
Figura 12. Motores de las máquinas vs potencia reactiva generada.....	40

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Inventario de los equipos de la empresa Mecanizados S.A.S.....	31
Tabla 2. Tipos de máquinas y características. ....	32
Tabla 3. Consumo energético.....	37
Tabla 4. Consumo energético de los motores. ....	38
Tabla 5. Características de funcionamiento de los motores estándar actuales.....	39
Tabla 6. Características de funcionamiento de los motores nuevos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7. Características de la iluminación del taller de la empresa Mecanizados S.A.S.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 8. Diferentes tipos de tecnologías disponibles y Lúmenes emitidos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 9. Eficiencia energética vs tecnología.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 10. Análisis de ahorro energético y económico. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 11. . Costo total y unitario de las tecnologías disponibles. ..	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 12. Costos vs vida útil de las luminarias. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## **Resumen**

# **AUDITORIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y PLAN DE MEJORA PARA LA EMPRESA MECANIZADOS S.A.S.**

**OMAR ANDRÉS HENAO ARCILA**  
**YEIMER AURELIO HINCAPIÉ BETANCUR**  
**OMAR ANDRÉS ORTEGA HERNÁNDEZ**

En el presente trabajo de grado se encuentra descrita la auditoria energética realizada a la empresa Mecanizados S.A.S ubicada en el municipio de Vegachí, Antioquia, cuyo propósito principal fue definir el consumo de energía eléctrica de las máquinas utilizadas por la empresa en los trabajos realizados y proponer alternativas destinadas a la reducción de estos consumos energéticos.

En este trabajo están descritas las tres actividades realizadas durante el proyecto: la primera actividad consistió en realizar mediciones en cada una de las máquinas durante 3 días a diferentes horas mediante un medidor de red marca FLUKE, lo cual permitió identificar las máquinas de mayor consumo energético que a su vez son los puntos para intervenir (auditoria energética).

Luego, con la información encontrada se procedió a proponer alternativas con el fin de reducir este consumo y, por último, se realizó un estudio de viabilidad económica con el propósito de definir cuáles de las alternativas planteadas son viables y cuáles no. Estas actividades también permitieron identificar la posibilidad de cambiar las luminarias fluorescentes por tecnología LED para la reducción del consumo energético de la empresa.

***Palabras clave:*** Eficiencia Energética, Auditoría de energía eléctrica, Consumo energético.

## **Abstract**

# **ENERGY AUDIT OF THE ELECTRICAL SYSTEM AND IMPROVEMENT PLAN FOR THE COMPANY MECANIZADOS S.A.S.**

**OMAR ANDRÉS HENAO ARCILA  
YEIMER AURELIO HINCAPIÉ BETANCUR  
OMAR ANDRÉS ORTEGA HERNÁNDEZ**

This degree work describes the energy audit conducted at the company Mecanizados S.A.S. located in the municipality of Vegachí, Antioquia. Its main purpose was to define the electrical energy consumption of the machines used by the company in the works performed and to propose alternatives aimed at reducing these energy consumptions.

In this work are described the three activities carried out during the project: The first activity consisted in taking measurements in each of the machines during 3 days at different times using a FLUKE network meter, which allowed identifying the machines with the highest energy consumption, which in turn are the points to intervene (energy audit).

Then, with the information found, we proceeded to propose alternatives in order to reduce this consumption and, finally, an economic feasibility study was conducted in order to define which of the proposed alternatives are viable and which are not. These activities also made it possible to identify the possibility of changing the fluorescent lighting fixtures for LED technology to reduce the company's energy consumption.

***Keywords:*** Energy Efficiency, Electrical Energy Audit, Energy Consumption.

## Glosario

**Auditoría de energía eléctrica:** Inspección de los flujos de energía eléctrica de una empresa, edificio o sistema, cuyo propósito principal es identificar variaciones o perturbaciones, las cuales deben ser corregidas (tier4, 2019).

**Carga eléctrica:** Es cualquier componente de un circuito que para su funcionamiento requiere de energía (Máquinas, 2018).

**Eficiencia Energética:** Optimización del uso de los recursos energéticos destinados a la realización de un trabajo determinado con el menor número de emisiones posibles (Minenergía, 2024).

**Energía activa:** Es la energía realmente utilizada para alimentar o impulsar los receptores eléctricos, la cual es convertida en trabajo mecánico o calor (Plenaenergía, 2022).

**Energía final:** Energía refinada y apta para ser utilizada en todas las aplicaciones que demanda nuestra sociedad. Se trata de un producto valioso, que debe ser usado con la máxima eficiencia (Foronuclear, 2023).

**Energía primaria:** Es la energía obtenida directamente de la naturaleza: Energía solar, hidráulica, eólica, geotérmica, biomasa, petróleo, gas natural o carbón (Foronuclear, 2023).

**Energía reactiva:** Es la energía generada por algunos equipos eléctricos no deseada (motores, capacitores, transformadores o bobinas, entre otros), la cual es inyectada a la red (Plenaenergía, 2022).

**Potencia nominal:** Potencia máxima que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales (Pepeenergy, 2024).

## Introducción

Debido a la problemática actual relacionada con el aumento del consumo de energía eléctrica a nivel mundial, se realizan diferentes investigaciones simultáneamente: unas destinadas a la búsqueda de nuevas fuentes de energía alternativas y poco contaminantes; otras enfocadas al uso eficiente de los recursos energéticos disponibles y, por último, las enfocadas al diseño o creación de equipos eficientes, los cuales potencialicen la producción. Muchas empresas poseen equipos de eficientes pero que debido a los años y a los mantenimientos correctivos realizados han disminuido su eficiencia, lo cual se ve reflejado en un aumento considerable de su consumo de potencia reactiva.

Esta potencia reactiva es la potencia requerida por las corrientes para establecer los campos magnéticos de las bobinas o los campos electrostáticos en los capacitores para su correcto funcionamiento (Sanchez, 2017). El aumento del consumo de energía reactiva puede provocar un corto circuito eléctrico, debido al sobre calentamiento de los dispositivos electrónicos, lo cual reduce la capacidad de la instalación. Por tal motivo, es indispensable realizar revisiones periódicas del funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos para identificar el estado del equipo o sistema como su eficiencia, lo cual se logra mediante una auditoria energética.

Ahora, en cuanto a sistemas de iluminación se trata, estos deben ser modernizados con el pasar del tiempo debido a las innumerables investigaciones dedicadas a la creación de nuevos materiales con propiedades termoeléctricas que faciliten la transformación de energía eléctrica a luz visible. La empresa Mecanizados S.A.S fue creada hace 8 años y en la actualidad posee luminarias antiguas, las cuales generan más cantidad de energía térmica residual que luminiscencia, lo cual se ve reflejado en un mayor consumo de energía eléctrica, por ende, en un aumento en el costo en el recibo de energía.

Por tal motivo, es de suma importancia realizar una auditoria energética inmediata a la empresa Mecanizados S.A.S para identificar las máquinas que están ocasionando ese alto consumo de energía eléctrica y potencia reactiva. Además, se piensa estudiar la posibilidad de cambiar las luminarias actuales por luces Led para reducir los costos de funcionamiento e incrementar las

ganancias de la empresa. Todo en base a las nuevas políticas ambientales que establecen el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos sin aumentar la contaminación generada conocido como desarrollo sostenible.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

A continuación, se expone la problemática actual de la empresa mecanizados S.A.S ubicada en el municipio de Vegachí, Antioquia. La empresa Mecanizados S.A.S es una empresa familiar constituida hace 8 años y en los últimos 2 años ha visto como el costo del recibo de energía eléctrica ha aumentado constantemente, lo cual reduce sus ganancias. Este aumento del consumo de energía eléctrica y potencia reactiva ya fue detectado por la empresa prestadora de servicios domiciliarios e industriales EPM (Empresas Públicas de Medellín), la cual exigió la reducción del consumo de potencia reactiva por parte de la empresa para evitar ser sancionada.

El consumo de energía eléctrica de la empresa es causado principalmente por la puesta en funcionamiento de las máquinas utilizadas para el mecanizado de piezas metálicas y por el sistema de iluminación actual. Entre las máquinas utilizadas en los procesos de mecanizado se destacan: taladro de columna, pulidora, fresadora, torno, soldador, cepillo, entre otras; las cuales son utilizadas durante sus largas jornadas laborales.

Por último, las iluminarias utilizadas por la empresa son convencionales y deberían ser remplazadas por luminarias tipo LED, las cuales reducirían el consumo de energía eléctrica aumentando sus ganancias.

### **1.2 Formulación**

¿Cómo reducir la generación de potencia reactiva de los equipos utilizados por la empresa Mecanizados S.A.S al menor costo posible y sin reducir la producción?

## **2. Justificación**

Debido a la notificación de la empresa que suministra la energía eléctrica (EPM), a Mecanizados S.A.S se hace indispensable dar pronta solución a esta problemática para evitar sanciones económicas que afectarían a un más el estado financiero de la empresa. Además, después de la pandemia del COVID 19, los trabajos realizados por la empresa a terceros se han reducidos disminuyendo sus ingresos.

Por tal motivo, realizar una auditoria energética es fundamental para identificar los focos de mayor consumo y proponer alternativas de solución destinadas a la reducción del consumo de energía eléctrica como al consumo de potencia reactiva. Pero para esta auditoría, es indispensable contar con un equipo analizador de redes, el cual permitirá obtener los valores de sus consumos con precisión.

Después el punto de vista económico esta auditoria permitirá identificar los puntos críticos, los cuales son fundamentales a la hora de proponer es alternativas de solución a las fallas encontradas, las cuales deben ser implementarlas lo antes posible para dar solución a esta problemática y reducir los costos de funcionamiento de la empresa y aumentar sus ganancias.

Desde el punto de vista ambiental la empresa estaría contribuyendo con la normativa vigente en relación con el uso racional y eficiente (URE) de los recursos disponibles reduciendo la huella de carbono generada.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Realizar una auditoria energética del sistema eléctrico actual de la empresa Mecanizados S.A.S. que conlleve al reconocimiento de fallas y a la elaboración de un plan que apunte al mejoramiento de su eficiencia energética.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los equipos eléctricos y su consumo utilizados por la empresa Mecanizados S.A.S
- Definir la alternativa más idónea para el mejoramiento de la eficiencia energética de los problemas o fallas encontradas.
- Realizar un presupuesto del costo de implementación de dicha alternativa.

## 4. Marco Teórico

En una empresa de mecanizados se utilizan varias máquinas para los diferentes procesos y estas pueden ser convencionales o programables CNC (Control Numérico Computarizado), entre estas máquinas se destacan:

- Fresadora convencional o CNC
- Torno convencional o CNC
- Taladro de columna
- Cortadora
- Pulidora
- Soldador

A continuación, se describe el funcionamiento y las características de cada una de estas máquinas.

### 4.1 Fresa Convencional y CNC

Es una máquina utilizada para desbastar, cortar o perforar material de una pieza base con el propósito de obtener una geometría más compleja para lo cual realiza varios procesos de desbaste de material. Las máquinas convencionales y CNC requieren de mantenimiento preventivo (Espinoza & Fernandez, 2018).

Para realizar cada uno de estos procesos de desbaste la máquina posee un conjunto de herramientas o fresas comúnmente fabricadas en materiales de alta resistencia y dureza, ver Figura 1.

Estas fresas poseen varias puntas que cuando giran arrancan material de la pieza base. Cuando la fresadora es convencional posee un sistema de volantes que le permite su avance transversal, longitudinal y vertical por medio de un sistema que convierte los giros de la volante en un desplazamiento lineal o en línea recta (Hernandez, 2024).



Figura 1. Tipos de fresas de corte de una fresadora.

Fuente: (Hernandez, 2024).

Las fresadoras manuales necesitan de mucha destreza del operario, estas poseen un solo motor principal el cual hace que la pieza rote en la dirección del eje Y (vertical) y para los movimientos transversales (eje Z) y longitudinales (eje X) se realizan de forma manual por medio de la volante ya mencionada en el párrafo anterior, (ver Figura 2).

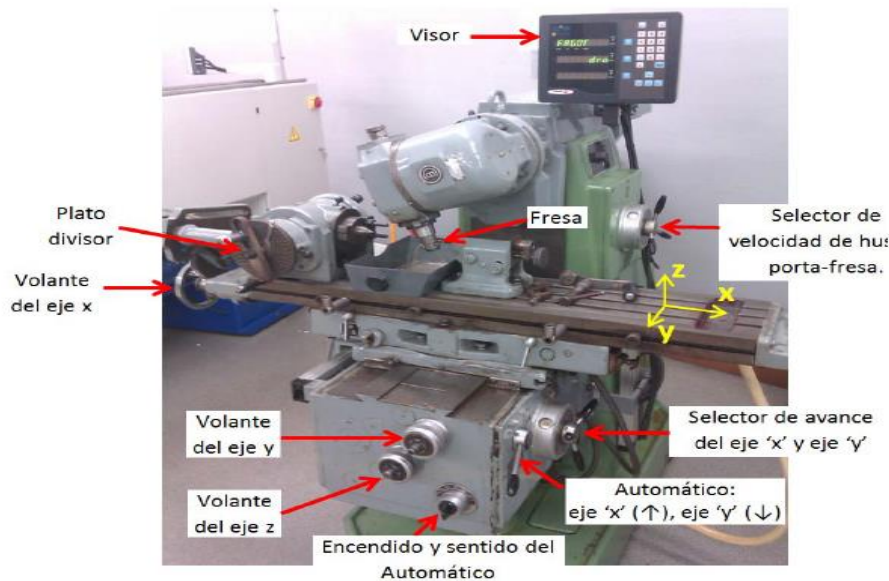


Figura 2. Fresa convencional.

Fuente: (Espinoza & Fernandez, 2018).

Por otro lado, las fresas CNC están provistas de un motor principal en su cabezal que proporciona un movimiento de rotación vertical o de eje (Y) y de servomotores auxiliares que

permitir el desplazamiento longitudinal (eje X) y transversal (eje Z) como la posible rotación en otro de los ejes, lo cual depende si es de 4 o 5 ejes. Para este tipo de máquina se necesita de personal calificado y experto en el lenguaje de programación que esta utilice, siendo este el encargado de realizar la programación de la máquina, (ver Figura 3).



*Figura 3.* Fresa CNC.  
Fuente: Fotografía propia.

En la actualidad existen muchos programas de dibujo que permiten obtener de forma fácil el código de programación compatible con la fresadora y facilitar su fabricación. Si deseas saber más sobre su funcionamiento puedes ver el siguiente video:

<https://www.youtube.com/watch?v=bmzwMIOPuOk&t=155s>.

**4.1.2 Componentes de una fresadora.** Los componentes de una fresadora están definidos según su modelo o año de fabricación, (ver Figura 2). Pero en general los principales son los siguientes (Bitfab, 2023):

La mesa es donde se ubica la pieza a trabajar que comúnmente es un bloque de material sólido, su superficie es plana con ranuras las cuales permiten la fijación de la pieza, por medio de una mordaza, amarres, tornillos o tuercas en T.

Las manivelas o volantes dan movimiento a los ejes cartesianos. Existe una “X”, “Y” y “Z” respectivamente. Con ellas se desplaza el componente sujeto en la cama y el husillo que contiene

la fresa. Pueden poseer más de estos elementos según la cantidad de movimientos disponibles tenga la máquina, o si se coloca un cuarto eje de giro.

El cabezal se encuentra ubicado en la parte superior y sujeta o asegura al elemento cortante o fresa. En algunos casos puede contener el botón de encendido y accesorios como lámparas y mangueras para líquido refrigerante.

El motor eléctrico es otro de los elementos principales de una fresadora. Su potencia, revoluciones y torques varían según el modelo y la finalidad de uso. También existen motores con control variable de velocidad, que se realiza de manera electrónica, y motores con una velocidad fija que regulan la velocidad y potencia con un sistema de poleas o engranajes.

La caja de cambios es necesaria porque no todos los materiales utilizados en la fabricación de piezas se cortan a la misma velocidad. Para cada material y herramienta de corte se requiere de una velocidad de giro para que el acabado de la pieza obtenida sea el mejor posible. Además, esto permite alargar la vida útil de la herramienta de corte.

Por eso las fresadoras tienen una caja de cambios que toman la salida de potencia del motor y la convierten a diferentes velocidades regulables o incluso a diferentes direcciones (para poder fresar en vertical o en horizontal) o elementos de la máquina (para poder tener avance automático en alguno de los ejes).

**4.1.3 Tipos de fresadoras.** Existen 3 tipos de fresadoras con funciones, tamaños y características específicas. Se pueden categorizar por diferentes criterios, pero aquí se clasifican según la dirección de la herramienta de corte o husillo, ver Figura 4.

Las fresadoras horizontales fueron las primeras en ser diseñadas y su husillo o herramienta de corte está ubicada de forma horizontal haciendo que la mesa de trabajo se mueva en coordenadas arriba y abajo. En la fresadora vertical como su nombre lo indica el husillo es vertical, perpendicular a la mesa de trabajo o coordenadas. Puede ser de cabezal oscilante, si es posible inclinar el husillo para hacer determinadas operaciones en ángulo. Por último, se tiene la fresadora

universal que es una combinación de las 2 anteriores y cuenta con la posibilidad de usar la herramienta de forma horizontal y vertical (Espinoza & Fernandez, 2018).



*Figura 4.* Tipos de fresadoras según su husillo: a) fresadora horizontal; b) fresadora vertical y c) fresadora universal.  
Fuente: (Bitfab, 2023).

Otra de sus clasificaciones es según su cantidad de ejes: Ellos definen los tipos de movimientos que tendrá la fresadora. A mayor número de ejes aumentará las posibilidades de mecanizado, a la vez que el coste de la máquina y la complejidad de la programación de las operaciones:

De 3 ejes. Son las direcciones ortogonales esenciales de una máquina de estas características. Representan los ejes X, Y, Z, para poder mecanizar en las 3 dimensiones del espacio.

De 4 ejes. Añade a los nombrados la posibilidad de rotar el objeto a mecanizar dentro de la mesa. Se pueden fresar las 4 caras laterales o también se puede colocar un útil para fijar 4 piezas en vez de una sola en cada ciclo.

De 5 ejes. Suma a los 3 ejes típicos una mesa capaz de girar en 2 ejes diferentes. Esto permite inclinar la pieza para fresarla en todas las caras excepto una, minimizando los diferentes agarres y permitiendo a la fresa acceder a muchos recovecos de la pieza. Generalmente los fresados de 5 ejes se hacen en centros de mecanizado, de los que hablará más adelante.

## 4.2 Torno convencional o CNC

El torno mecánico es una máquina utilizada para arranque de viruta, cortar y dar forma o pulir piezas de diferentes materiales; es decir, para realizar el proceso de torneado. Está diseñado para mecanizar piezas geométricas de revolución. Durante su funcionamiento la pieza gira a gran velocidad, por lo que la pieza debe ser sujeta al cabezal que este posee; mientras la pieza gira, la herramienta de corte se acerca de forma controlada hasta que entra en contacto con ella desprendiendo material en forma de pequeñas hojuelas que se denominan virutas (HELLER, 2019).

**4.2.1 Partes de torno mecánico.** El torno mecánico, que es una de las máquinas herramienta más utilizadas en los talleres de mecanizado, cuenta con las siguientes partes (ver Figura 5) (HELLER, 2019),:

La bancada es la base del torno y da soporte a las demás partes. En la parte superior de la misma se asientan una serie de guías que permiten que el cabezal móvil, el carro principal y el contrapunto se deslicen sobre ella.

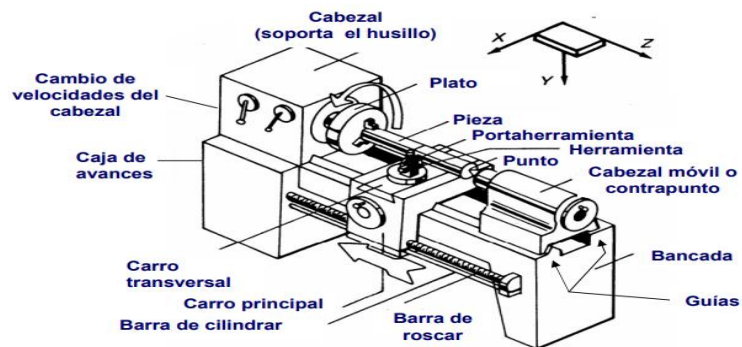
El cabezal fijo es el encargado de almacenar los engranajes y poleas, que transmiten el movimiento o potencia a la pieza a mecanizar entregado por el motor impulsor. Dentro de este se encuentra: el motor, el husillo, el selector de velocidad, la unidad de avance y de sentido de avance.

El contrapunto es un elemento utilizado para el mecanizado de piezas y sirve como apoyo para ubicar las piezas en el torno. El contrapunto es móvil y puede fijarse en distintas posiciones sobre la bancada.

El carro portátil se forma por un carro principal, que es el que alberga la herramienta principal y le da movimiento axial (eje X). Además, cuenta con un carro transversal que, como su nombre indica, realiza un desplazamiento transversal (eje Z) sobre el carro principal y de forma radial.

El cabezal giratorio es el encargado de sujetar la pieza mientras esta gira sobre su propio eje mientras durante el mecanizado. Hay diferentes tipos de cabezales: cuatro mordazas, tres mordazas, universal, etcétera.

La caja Norton, o también conocida como caja de velocidades, utiliza palancas que accionan los diferentes engranes que ella posee.



*Figura 5.* Partes de un torno mecánico.

Fuente: (Máquinas, 2018).

Por otro lado, existen los tornos de control numérico (CNC), los cuales son máquinas destinadas para mecanizar piezas de revolución que utiliza un software de computadora con datos alfanuméricos, siguiendo los ejes cartesianos X, Y. (Ver Figura 6).



*Figura 6.* Torno CNC.

Fuente: Fotografía propia.

### 4.3 Taladro de columna

El taladro vertical o de columna es una máquina-herramienta giratoria de mecanizado por arranque de viruta que se utiliza en trabajos de perforación, punteado y escariado, mediante un mecanismo de avance, ascendente y descendente (Murcia, 2015).



*Figura 7.* Taladro vertical convencional.

Fuente: (Murcia, 2015).

El taladro de columna consta principalmente de los siguientes elementos (Murcia, 2015):

- a) Base sobre la que se eleva la columna.
- b) Cabezal, en la parte superior que soporta el motor y envuelve el conjunto de correas y poleas.
- c) Bandeja o mesa de trabajo móvil regulable en altura y, a veces, inclinable.
- d) Medidor de profundidad del taladro.
- e) Husillo y portabrocas.
- f) Seleccionador de velocidad y giro y de nivelador de altura.
- g) Interruptor de encendido y apagado.
- h) Pulsador de parada de emergencia.

#### 4.4 Cortadora

Máquina herramienta utilizada para el corte de materiales sólidos, esta posee un motor eléctrico que permite un corte más preciso y rápido de la pieza por medio de un disco fabricado en un material de alta resistencia (Gonzalez, 2007), ver Figura 8.



*Figura 8.* Cortadora de aceros marca TECNO.

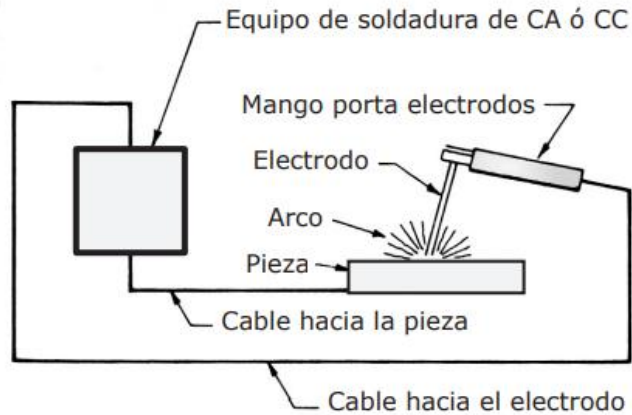
Fuente: Fotografía propia.

#### 4.5 Soldador

El término soldadura se puede definir como la unión mecánicamente resistente de dos o más piezas metálicas diferentes, usualmente logrado a través de la fusión. En este tipo de soldadura, el intenso calor necesario para fundir los metales es producido por un arco eléctrico, el voltaje para que esto se produzca esta entre 70 a 90 voltios. Por otro lado, los valores de tensión y de corriente variarán en función de la longitud del arco. A mayor distancia, menor corriente y mayor tensión, y a menor distancia, mayor corriente con tensión más reducida (Rodriguez, 2012).

#### 4.6 Auditoria energética

Existen 2 tipos de auditorías energéticas: térmicas y eléctricas. La térmicas están destinadas a conocer la cantidad de energía térmica liberada y aprovechada en el proceso. Ahora, las eléctricas permiten conocer cuanta de la energía consumida por equipo eléctrico es aprovechada para producir trabajo, movimiento o iluminación.



*Figura 9.* Proceso de soldadura por arco eléctrico.

Fuente: (Rodríguez, 2012).

Una auditoría energética eléctrica es una inspección y análisis de flujos de energía cuyo propósito es conocer el estado de eficiencia de los sistemas eléctricos que la empresa posee, los cuales deben ser analizados. Durante estas auditorías, muchas veces los sistemas son analizados en forma independiente, pero luego sus consumos son unificados. Por ejemplo: El sistema de iluminación muchas veces es analizado de forma independiente de los motores eléctricos que impulsan las máquinas y de los sistemas de refrigeración o aires acondicionados.

#### **4.7 Auditoría energética en iluminación**

Para el diseño de sistemas de iluminación se debe tener en consideración lo estipulado por el RETILAP donde se indica lo siguiente (RETILAP, 2021):

En todos los proyectos de iluminación, se deben elegir las luminarias y fuentes luminosas teniendo en cuenta, la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil de la fuente, tipo y características de la luminaria, todo esto acorde con las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como de consideraciones arquitectónicas, ambientales y económicas.

Los criterios que se deben usar para identificar los tipos de luminarias y que a su vez sirven como punto de evaluación son (RETILAP, 2021):

- Su fotometría
- Su uso
- El tipo de fuente de luz o bombilla
- Las dimensiones y forma de la luminaria
- El tipo de montaje o instalación requerido
- Su cerramiento o índice de protección IP
- El tipo de superficie reflectora de su conjunto óptico

Ahora para el diseño de un sistema de iluminación se debe considerar (RETILAP, 2021). El diseño detallado es obligatorio para, alumbrado público, iluminación industrial, iluminación comercial con espacios de mayores a 500 m<sup>2</sup> y en general en los lugares donde se tengan más de 10 puestos de trabajo, iluminación de salones donde se imparta enseñanza, o lugares con alta concentración de personas en un mismo salón (50 o más), durante periodos mayores a dos horas. En función del perfil definido en la fase de diseño básico, se deben resolver los aspectos específicos del proyecto, tales como:

- La selección de las luminarias
- El diseño geométrico y sistemas de montaje
- Los sistemas de alimentación, comando y control eléctricos
- La instalación del alumbrado de emergencia y seguridad, cuando se requiera.
- Análisis económico y presupuesto del proyecto

En esta etapa el diseñador debe presentar mínimo la siguiente documentación técnica:

- Planos de montaje y distribución de luminarias
- Memorias descriptivas y de cálculos fotométricos
- Cálculos eléctricos
- Una propuesta de esquema funcional de la instalación para propiciar el uso racional de la energía
- El esquema y programa de mantenimiento.
- Las especificaciones de los equipos recomendados. En lo posible el diseño debe considerar varias alternativas de iluminación.

Otras recomendaciones (RETILAP, 2021):

- Aprovechar al máximo la luz natural.
- Usar Colores claros en paredes y techos permite aprovechar al máximo la luz natural y reducir el nivel de iluminación artificial.
- No dejar encendidas fuentes luminosas que no se estén utilizando.
- Limpiar periódicamente las bombillas y luminarias permite aumentar la luminosidad sin aumentar la potencia.
- Adaptar la iluminación a las necesidades, prefiriendo la iluminación localizada, además de ahorrar energía permite conseguir ambientes más confortables.
- Colocar reguladores de intensidad luminosa de tipo electrónico.
- Colocar detectores de presencia o interruptores temporizados en zonas comunes (vestíbulos, garajes, etc.), de forma que las fuentes luminosas se apaguen y enciendan automáticamente.

#### **4.8 Instrumentos utilizados en auditorías energéticas**

En la mayoría de las auditorías energéticas como en otros procesos de caracterización energética de un edificio, se han de realizar una gran cantidad de mediciones, las cuales permiten definir los indicadores de desempeño energético como los puntos susceptibles de mejora.

Por ello, y para llevar a cabo todas estas mediciones, se requiere de una amplia gama de instrumentos o de un equipo de mida varias variables simultáneamente. A continuación, se ilustran algunos de ellos permitiendo realizar un buen diagnóstico energético de cualquier inmueble (Iturbe, 2022):

**4.8.1 Analizador de redes eléctricas.** Este tipo de equipos permiten realizar mediciones de diferentes parámetros de las redes eléctricas de baja tensión. A través de sus pinzas amperimétricas y volumétricas, se puede verificar el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica y el cableado, ya sea en ámbitos de potencia, conductividad o rendimiento, (ver Figura 10).



*Figura 10.* Medidor de red marca Fluke.  
Fuente: (FLUKE, 2022).

#### **4.9 Tipos de auditorías energéticas**

A continuación, se mencionan los tipos de auditorías energéticas (energy, 2019):

**Auditoría Nivel 1:** Auditoría preliminar en la cual se realiza un análisis cualitativo de la institución a ser auditada. Se basa en la comparación de los consumos históricos de energía y, generalmente, se identifican medidas de bajo costo.

**Auditoría Nivel 2:** Se trata de una auditoría detallada que incluye el establecimiento de una línea base (mediciones), sobre la cual se efectúan las recomendaciones y se calcula el ahorro de energía y el ahorro económico. Las recomendaciones tienen alto potencial de ahorro.

**Auditoría Nivel 3:** Auditoría especial, basada en un enfoque de desarrollo de proyectos y minimización de riesgos que incluye, principalmente: el costo real del proyecto, el desarrollo de las medidas a nivel de ingeniería preliminar, medición del consumo energético por hora, análisis económico financiero.

**Auditoría Nivel 4:** Estudio sobre el estado de las instalaciones, con las correspondientes propuestas de mejoras orientadas al ahorro de energía, incluyendo un estudio económico de las mismas e incluso a proponer importantes modificaciones en dicho proceso (cambio en la tecnología del proceso).

**Auditoría Energética dinámica y continua:** Es la que se realiza de modo continuo.

Durante la realización de dichas auditorias se pueden evidenciar diferentes actividades, entre las cuales se destacan (Vasquez & Silva, 2022):

- Recopilación de información preliminar
  - Recibos de facturación eléctrica de los últimos 6 o 12 meses
  - Caracterización de equipos eléctricos o del sistema de consumo eléctrico que se tenga.
  - Régimen de actividad de la empresa o edificio y horas de funcionamiento.
  - Análisis del sistema: eléctrico, iluminación, refrigeración, áreas comunes y ascensores o los que se tenga.
- Revisión de datos preliminares.
  - Identificación de puntos de medición y de mayor consumo.
  - Monitoreo en puntos especificados.
  - Interpretación de datos obtenidos.
  - Identificación de problemas y oportunidades de mejora.
  - Planteamiento de soluciones.
  - Evaluación técnica económica de soluciones.
  - Implementación de soluciones.
  - Elaboración del informe basado en los problemas de mayor impacto energético y óptimas oportunidades de mejora.
- Implementación, monitoreo y seguimiento de soluciones.

## 5. Metodología

La metodología está compuesta por las siguientes actividades: La primera actividad consistió en realizar una búsqueda bibliográfica sobre todo lo relacionado con auditorías energéticas eléctricas para lo cual se utilizaron palabras claves como: eficiencia energética, auditorías eléctricas, entre otras. Luego con la información encontrada, se procedió a crear el marco teórico base del proyecto.

Posteriormente, se procedió programo una visita con el fin de realizar un diagnóstico energético inicial e identificar los diferentes focos de consumo; además de las tecnologías que el edificio posee en la actualidad, lo cual permitirá posteriormente proponer mejoras a las fallas encontradas.

Durante esta visita se realizó un análisis de los consumos energéticos de cada una de las máquinas anteriormente mencionadas para lo cual se utilizó un medidor de red marca Fluke 435-2, lo cual permitió definir los focos de mayor consumo o críticos, los cuales a su vez serán los indicados para proponer posibles mejoras.

También durante la visita se identificaron y evaluaron los equipos o tecnologías de iluminación que posee la empresa actualmente y se procedió a realizar una búsqueda en el mercado nacional de tecnologías más actuales que se pueden implementar y mejorar su eficiencia, pero con un bajo costo para no incrementar sus gastos.

Otra de las actividades consistió en tomar los datos obtenidos durante el análisis energético realizado, organizarlos y realizar una comparación entre el consumo actual y los consumos anteriores registrados en la factura de servicios entregada por el operador de energía, lo cual permitió obtener el consumo promedio mensual, el cual será posteriormente comparado con el obtenido según las mejorar planteadas.

Posteriormente, se planteó una lluvia de ideas para encontrar las diferentes alternativas disponibles para reducir el consumo de la edificación y aumentar su eficiencia energética seleccionando la de más bajo costo y fácil implementación. Por último, se realizaron las

conclusiones respectivas de cada uno de los objetivos planteados en el trabajo, las cuales fueron obtenidas durante las diferentes actividades realizadas, cuales servirán a su vez como punto de partida para proyectos futuros de eficiencia energética a nivel de edificaciones residenciales.

## 6. Resultados

A continuación, se visualizan las diferentes actividades realizadas para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos y por ende al objetivo general que es realizar una auditoría energética eléctrica en la empresa Mecanizados S.A.S.

### 6.1 Caracterización de los equipos eléctricos e identificación de sus consumos

En la Tabla 1, se pueden observar el inventario de los equipos que posee la empresa de Mecanizados S.A.S. Esta define el número de estos como algunas de sus características principales: Tipo, marca, funcionamiento manual o programado.

Tabla 1.

*Inventario de los equipos de la empresa Mecanizados S.A.S*

NÚMERO	TIPO DE MÁQUINA	MARCA
1	Fresa CNC de 4 ejes	HAAS
2	Fresa CNC de 3 ejes	HAAS
3	Fresa convencional N.1	FIRST
4	Fresa convencional N.2	CMAM
5	Torno convencional N.1	TECNO
6	Torno convencional N.2	TECNO
7	Torno CNC N.1	TECNO
8	Torno CNC N.2	TECNO
9	Soldador	EXTREME WELDER
10	Cortadora	TECNO
11	Malacate	SIEMENS
12	Esmeril	SKIL

Fuente: Elaboración propia.

Para complementar la información de la Tabla 1 se creó una especie de ficha técnica donde se especifica más profundamente algunas de las características de cada tipo de máquina, ver Tabla 2.

Tabla 2.

*Tipos de máquinas y características.*

MÁQUINAS Y CARACTERÍSTICAS	FOTO
<p>Fresa CNC de 4 ejes Modelo TM-3</p> <p>Motor cabezal principal 5 hp Para mover cada eje utiliza servomotores de 1,5 hp, torque de 5,7 N.m y rpm 1500.</p> <p>Voltaje 208/240 voltios Frecuencia 60 Hz Amperaje 25/40 Amp</p> <p>30 horas/semanal</p>	  
<p>Fresa CNC de 3 ejes Modelo TM-1</p> <p>Motor cabezal principal 5 hp</p> <p>Para mover cada eje utiliza servomotores de 1,5 hp, torque de 5.7 N.m a 1500 rpm.</p> <p>Voltaje 200 voltios Frecuencia 60 Hz Amperaje 25/40 Amp</p> <p>30 horas/semanal</p>	 

Tabla 2.

(Continuación)


MÁQUINAS Y CARACTERÍSTICAS	FOTO																																								
<p>Fresa convencional N.1 marca First de 3 hp , 220 voltios, 60 Hz y trabaja a 1720 a 3440 rpm, utiliza poleas con una relación de 2/4.</p> <p>10 horas/ semanal</p>	  <table border="1" data-bbox="885 968 1144 1138"> <thead> <tr> <th colspan="2">Slavey</th> <th colspan="2">INDUCTION MOTOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TYPE</td> <td>PHASES</td> <td>R.P.M.</td> <td>CLAS.</td> </tr> <tr> <td>H.P.</td> <td>VOLTS</td> <td>NO. OF</td> <td>INSUL.</td> </tr> <tr> <td>POLES</td> <td>CYCLES</td> <td>PER MIN.</td> <td>TYPE</td> </tr> <tr> <td>RATING</td> <td>AMPS</td> <td>R.P.M.</td> <td>GRADE</td> </tr> <tr> <td>DESIGN</td> <td>AMP. S.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MOTOR</td> <td>G.D.D.E.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DATE</td> <td>WARRANTY</td> <td>BEARING</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG. NO.</td> <td>139343</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">HUA SHIN ELECTRIC</td> </tr> </tbody> </table>	Slavey		INDUCTION MOTOR		TYPE	PHASES	R.P.M.	CLAS.	H.P.	VOLTS	NO. OF	INSUL.	POLES	CYCLES	PER MIN.	TYPE	RATING	AMPS	R.P.M.	GRADE	DESIGN	AMP. S.			MOTOR	G.D.D.E.			DATE	WARRANTY	BEARING		MFG. NO.	139343			HUA SHIN ELECTRIC			
Slavey		INDUCTION MOTOR																																							
TYPE	PHASES	R.P.M.	CLAS.																																						
H.P.	VOLTS	NO. OF	INSUL.																																						
POLES	CYCLES	PER MIN.	TYPE																																						
RATING	AMPS	R.P.M.	GRADE																																						
DESIGN	AMP. S.																																								
MOTOR	G.D.D.E.																																								
DATE	WARRANTY	BEARING																																							
MFG. NO.	139343																																								
HUA SHIN ELECTRIC																																									
<p>Fresa convencional N.2 marca ACMAN de 3 hp , 220 voltios, 60 Hz y trabaja a 1720 a 3440 rpm, utiliza poleas con una relación de 2/4.</p> <p>10 horas/semanal</p>																																									

Tabla 2.

(Continuación)

<b>MÁQUINAS Y CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FOTO</b>
<p>Torno convencional N.1 marca TECNO de 7,5 hp, 60 Hz, 220 voltios, trabaja a 3300 rpm</p> <p>30 horas/semanal</p>	 A photograph of a blue TECNO conventional lathe machine. The machine has a control panel on the left side with various dials and switches. The brand name "TECNO" is visible on the front of the machine. The machine is mounted on a blue base.
<p>Torno convencional N.2 marca de 7,5 hp, 60 Hz, 220 voltios, trabaja a 3600 rpm</p> <p>30 horas/semanal</p>	 A close-up photograph of a green conventional lathe machine. The machine has a control panel with a large dial and several smaller dials. The brand name "TECNO" is visible on the front of the machine. The machine is mounted on a green base.
<p>Torno CNC N.1 marca TECNO 7,5 hp a 220 voltios y 60 Hz trabajan a 3600 rpm.</p> <p>20 horas/semanal</p>	 A photograph of a blue TECNO CNC lathe machine. The machine has a control panel on the left side with a digital display and several buttons. The brand name "TECNO" is visible on the front of the machine. The machine is mounted on a blue base.

Tabla 2.

(Continuación)






<b>MÁQUINAS Y CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FOTO</b>
<p>Torno CNC N.2 marca TECNO 10 hp a 220 voltios y 60 Hz trabajan a 3600 rpm.</p> <p>20 horas/semanal</p>	
<p>Malacate marca Siemens de 1 hp y trabaja a 60 rpm</p> <p>Trabaja 1 hora/ semanal</p>	
<p>Pulidora marca Skil con un motor de 370 W, 60 Hz, 124 voltios y trabaja a 1740 a 3400 rpm</p> <p>Trabaja 3 horas /semanales</p>	

Tabla 2.  
(Continuación)

MÁQUINAS Y CARACTERÍSTICAS	FOTO
<p>Cortadora para materiales solidos TECNO modelo BS-712N de 0,75 hp, 220 voltios, 60 Hz</p> <p>Trabaja 3 horas/semana</p>	
<p>Soldador marca EXTREME Welder de 60 W , 220 voltios y 60 Hz.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 Consumo energético y distribución

Los primeros elementos analizados fueron el sistema de iluminación y los electrodomésticos (computador, nevera y televisor). Para esto, se procedió a definir el consumo energético establecido en kWh/mes y la potencia nominal según el tipo de electrodoméstico (ELHERALDO, 2016). En la Tabla 3 se puede observar la información obtenida.

Tabla 3.

*Consumo energético*

Tipo de consumo	Cantidad	Potencia nominal (W)	Consumo de energía mensual (kWh/Mes)	Consumo de energía mensual total (kWh/Mes)
Iluminación	8	100	15	120
Nevera	1	130	47	47
Computador	1	565	68	68
Televisor	1	70	18	18
			Total	253

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se puede observar el consumo energético de los sistemas secundarios de la empresa de mecanizados S.A.S en kWh/mes, lo cual permite evidenciar que el sistema de iluminación consume 120 kWh/mes de energía eléctrica entre estos. Ahora para conocer el costo del consumo del sistema secundario en pesos colombianos, es necesario conocer el costo del kWh, que para el 7 de junio de 2024 es aproximadamente de \$ 349,8/kWh (Enel, 2024):

$$253 \text{ kWh} * \frac{\$ 349,8}{1 \text{ kWh}} = \$ 88499,4$$

Por otro lado, los motores eléctricos que impulsan las máquinas consumen cerca del 90 % de energía eléctrica registrada en la factura de eléctrica en kWh/mes. En la Tabla 4 se puede observar el consumo energético de los motores.

El consumo energético fue calculado teniendo como base 24 días trabajados, su costo en pesos colombianos es:

$$3297,28 \text{ kWh} * \frac{\$ 349,8}{1 \text{ kWh}} = \$ 1'153.388,614$$

Este sería el costo del recibo de energía eléctrica mensual de la empresa debido a los motores de las maquinas utilizadas en los procesos de mecanizado. A este valor se le debe sumar el costo del consumo de energía eléctrica de las luminarias y los electrodomésticos:

$$\text{Costo total} = \$ 88499,4 + \$ 1'153.388,614 = \$ 1'241.888,014$$

Tabla 4.

*Consumo energético de los motores.*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia Nominal</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Consumo de energía mensual (kWh/Mes)</b>
Fresa CNC de 4 ejes	1	5 hp o 3,728 kW	5	447,36
		1,5 hp o 1,1185 kW	3	80,532
Fresa CNC de 3 ejes	1	5 hp o 3,728 kW	5	447,36
		1,5 hp o 1,1185 kW	3	80,532
Fresa convencional N.1	1	3 hp o 2,237 kW	3	161,064
Fresa convencional N.2	1	3 hp o 2,237 kW	3	161,064
Torno convencional N.1	1	7,5 hp o 5,5925 kW	3	402,66
Torno convencional N.2	1	7,5 hp o 5,5925 kW	3	402,66
Torno CNC N.1	1	7,5 hp o 5,5925 kW	3	402,66
Torno CNC N.2	1	10 hp o 7,27 kW	4	695,04
Soldador	1	0,06 kW	0,5	0,72
Cortadora	1	0,75 hp o 0,5595 kW	0,5	6,714
Malacate	1	1 hp o 0,7457 kW	0,25	4,4742
Esmeril	1	0,37 kW	0,5	4,44
			<b>Total</b>	<b>3297,28</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Auditoria de energía eléctrica realizada a los motores de las máquinas

A continuación, se describe el panorama general de los motores eléctricos de las maquinas en relación con su capacidad, consumo, rendimiento y estado actual, utilizados en el taller de la empresa Mecanizados S.A.S.

Para las mediciones realizadas se asignaron las siguientes siglas: Potencia activa o real (P), potencia reactiva (Q), Potencia aparente (S), factor de potencia (Fp) y Horas trabajadas (ht), ver Tabla 5. Estas pruebas fueron realizadas en un día de operación de 8 horas, intervalos de tiempo de 2 horas obteniendo como resultado 4 valores, los cuales fueron sumados y divididos entre 4 para obtener su valor promedio por día.

Según los resultados del análisis realizado, ver Tabla 5. Se puede concluir que los motores que consumen mayor potencia son los tornos convencionales y los tornos CNC, ver Figura 11.

Tabla 5.

*Características de funcionamiento de los motores estándar actuales.*

Máquina	Potencia activa	Horas Trabajadas	Consumo Energía	Factor potencia	Potencia Aparente	Potencia Reactiva
Motores	P (kW)	(Horas/día)	(kWh)	Fp	S (kVAR)	Q (kVAR)
Fresa 4 ejes	3,728	5	18,64	0,8	23,3	13,98
Fresa 4 ejes	1,1185	3	3,3555	0,78	4,301923077	2,692055332
Fresa 3 ejes	3,728	5	18,64	0,76	24,52631579	15,94021851
Fresa 3 ejes	1,1185	3	3,3555	0,79	4,247468354	2,60415191
Fresa convencional 1	2,237	3	6,711	0,79	8,494936709	5,208303821
Fresa convencional 2	2,237	3	6,711	0,8	8,38875	5,03325
Torno convencional 1	5,5925	3	16,7775	0,76	22,07565789	14,3474794
Torno convencional 2	5,5925	3	16,7775	0,79	21,23734177	13,02075955
Torno CNC 1	5,5925	3	16,7775	0,8	20,971875	12,583125
Torno CNC 1	7,27	4	29,08	0,79	36,81012658	22,56854047
Soldador	0,06	0,5	0,03	0,8	0,0375	0,0225
cortadora	0,5595	0,5	0,27975	0,76	0,368092105	0,239231552
Malacate	0,7457	0,25	0,186425	0,79	0,235981013	0,144681573
Esmeril	0,37	0,5	0,185	0,8	0,23125	0,13875

Fuente: Elaboración propia.

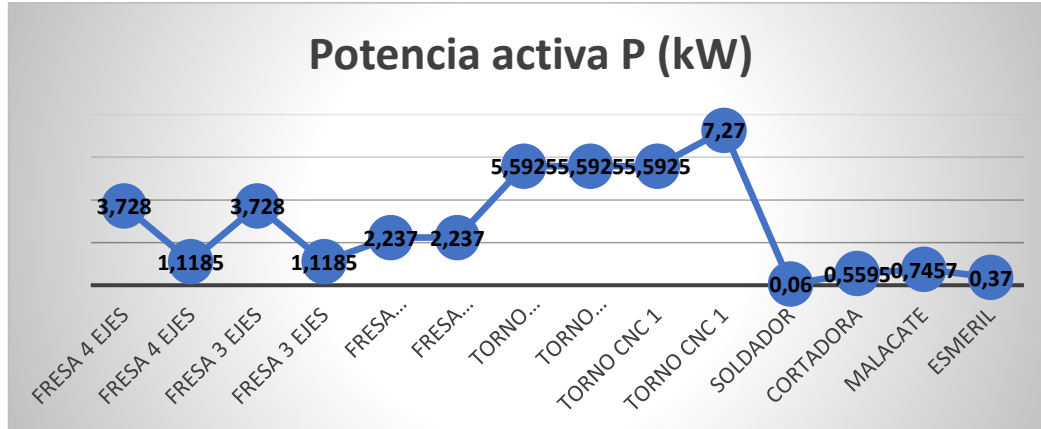


Figura 11. Potencia demandada por los motores de las máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, los motores de las maquinas que generan mayor potencia reactiva son: las fresas de 4 y 3 ejes como el trono convencional y CNC 2 (ver Figura 12).

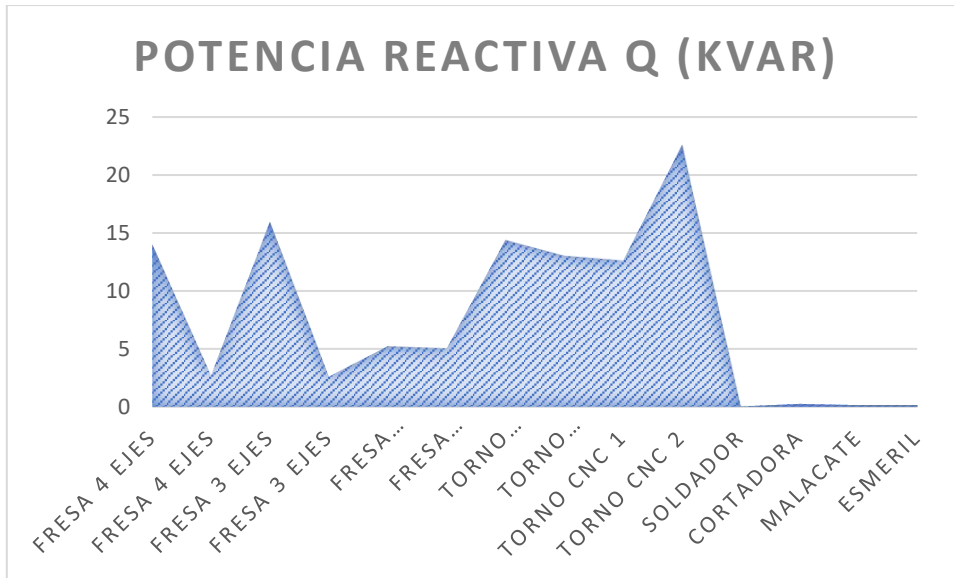


Figura 12. Potencia reactiva generada por los motores de las máquinas.  
Fuente: elaboración propia.

El factor de potencia promedio es:

$$FP = \frac{(0,8 + 0,78 + 0,76 + 0,79 + 0,79 + 0,8 + 0,76 + 0,79 + 0,8 + 0,79 + 0,8 + 0,76 + 0,79 + 0,8)}{14} = 0,7864$$

Entonces el ángulo de desfase ( $\varphi$ ) es:

$$\varphi = \cos^{-1}(0,7864) = 38^{\circ}15'$$

Del triángulo de potencia de la Figura 13, se deduce que:

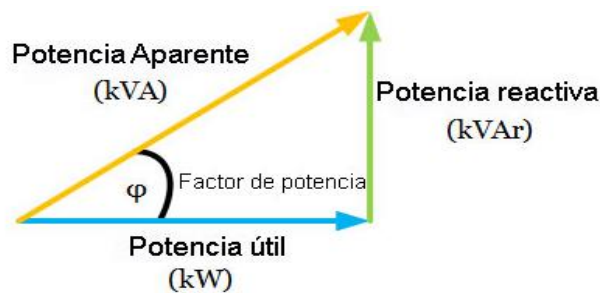


Figura 13. Triángulo de potencia.  
Fuente: Elaboración propia.

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

La potencia activa total (P) es la sumatoria de todas las potencias activas de la Tabla 5:

$$P = 137,5066 \text{ kW}$$

La potencia reactiva penalizada es:

$$Q_1 = (137,5066 \text{ kW}) * (\tan 38^{\circ}15) = 108,0128 \text{ kVAR}$$

La potencia reactiva penalizada se cobra al doble del valor normal del kWh, al 7 de junio de 2024 el kWh tenía un costo de \$ 349,8/kWh (Infobae, 2024):

$$\text{Costo Potencia Reactiva} = 108,0128 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \$ 75608,99/\text{h}$$

Este sería el valor en dinero cobrado a la empresa debido a la potencia reactiva consumida por la instalación.

## 6.4 Alternativas de solución

**6.4.1 Ahorro de energía y costo en los motores eléctricos.** Para dar solución al problema de corrección de factor de potencia se puede pensar en una de dos alternativas: implementar un banco de capacitores, o cambiar los motores de mayor consumo de potencia por motores de alta eficiencia.

Si se decide por instalar un banco de capacitores se recomienda que este garantice un factor de potencia por lo menos de 0,95 para no ser penalizados y disminuir el costo de la factura de energía eléctrica.

Si se desea un factor de potencia de 0,95. Por tal motivo el nuevo ángulo ( $\varphi$ ) será:

$$\varphi = \cos^{-1}(0,95) = 18^{\circ}20'$$

La nueva potencia reactiva generada será:

$$Q_2 = (108,0128 \text{ kW}) * (\tan 18^{\circ}20') = 35,5128 \text{ kVAR}$$

Esta sería la potencia reactiva que se debería generar con el nuevo factor de potencia de 0,95.

La carga reactiva reducida es:

$$QC = 108,0128 \text{ kVAR} - 35,5128 \text{ kVAR} = 72,5 \text{ kVAR}$$

Entonces el ahorro por la compensación de potencia reactiva será:

$$EQC = 72,5 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \frac{\$ 50749,9}{\text{h}}$$

Si se considera que en promedio los motores trabajan 1800 h/año, el ahorro en dinero anual sería de:

$$\frac{\$ 50749,9}{\text{h}} * \frac{1800 \text{ h}}{\text{año}} = \frac{\$ 91'349.820}{\text{año}}$$

Se requiere de un banco de capacitores de:

$$BC = \frac{3 * QC}{\text{Voltaje}^2} * (10^6)$$

El voltaje suministrado a los motores es de 220 Voltios, entonces:

$$BC = \frac{3 * 72,5 \text{ kVAR}}{(60 \text{ hz}) * (220 \text{ voltios})^2} * (10^6) = 74896,69 \mu F$$

El cuál tendría un costo aproximado de \$ 7'500000 COP en el mercado colombiano.

**6.4.2 Cambio de motores eléctricos.** A continuación, se evidencia el análisis realizado al sistema, si los motores fueran cambiados por unos de alta eficiencia, ver Tabla 6.

Tabla 6.  
*Características de funcionamiento de los motores nuevos.*

Equipo	Potencia activa	Horas Trabajadas	Consumo Energía	Factor potencia	Potencia Aparente	Potencia Reactiva
Motores	P (kW)	(horas)	(kWh)	Fp	S (kVA)	Q (kVAR)
Fresa 4 ejes	3,728	5	18,64	0,94	19,82978723	6,765416598
Fresa 4 ejes	1,1185	3	3,3555	0,92	3,647282609	1,429437014
Fresa 3 ejes	3,728	5	18,64	0,94	19,82978723	6,765416598
Fresa 3 ejes	1,1185	3	3,3555	0,92	3,647282609	1,429437014
Fresa convencional 1	2,237	3	6,711	0,93	7,216129032	2,652356916
Fresa convencional 2	2,237	3	6,711	0,94	7,139361702	2,435767746
Torno convencional 1	5,5925	3	16,7775	0,92	18,23641304	7,147185071
Torno convencional 2	5,5925	3	16,7775	0,93	18,04032258	6,63089229
Torno CNC 1	5,5925	3	16,7775	0,9	18,64166667	8,125714114
Torno CNC 2	7,27	4	29,08	0,93	31,2688172	11,49315141
Soldador	0,06	0,5	0,03	0,94	0,031914894	0,010888546
cortadora	0,5595	0,5	0,27975	0,94	0,297606383	0,101535692
Malacate	0,7457	0,25	0,186425	0,93	0,200456989	0,073679875
Esmeril	0,37	0,5	0,185	0,92	0,201086957	0,07880967

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados del análisis realizado, ver Tabla 6. Se puede observar lo siguiente:

El factor de potencia promedio es:

$$FP = \frac{(0,94 + 0,92 + 0,94 + 0,92 + 0,93 + 0,94 + 0,92 + 0,93 + 0,94 + 0,9 + 0,93 + 0,94 + 0,94 + 0,92)}{14}$$

$$= 0,9285$$

Entonces el ángulo de desfase ( $\varphi$ ) es:

$$\varphi = \cos^{-1}(0,9285) = 21^{\circ}79$$

La potencia reactiva penalizada es:

$$Q_1 = (137,5066 \text{ kW}) * (\tan 21^{\circ}79) = 54,97 \text{ kVAR}$$

La potencia reactiva penalizada se cobra al doble del valor normal del kWh, a esta fecha el kWh tenía un costo de \$ 349,8/kWh (Infobae, 2024):

$$\text{Costo Potencia Reactiva} = 54,97 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \$ 38479,61/\text{h}$$

Este sería el valor en dinero cobrado a la empresa debido a la potencia reactiva consumida por la instalación. El costo promedio de los nuevos motores en el mercado sería de \$ 53'000000 COP.

Ahora este reduciendo en un año sería de:

$$\$ \frac{38479,61}{\text{h}} * \frac{1800 \text{ h}}{\text{año}} = \$ 69'263.298/\text{año}$$

Esto permite comprobar que si se compraran estos motores en 1 año se recuperaría la inversión.

**6.4.3 Ahorro de energía y costos en iluminación.** Una solución posible para mejorar la eficiencia energética en iluminación es cambiar las luminarias por unas LED de alta eficiencia. A continuación, se visualiza las características de las luminarias existentes en la empresa, ver Tabla 7.

Tabla 7.

*Características de la iluminación del taller de la empresa Mecanizados S.A.S.*

Potencia Instalada	800 W
Iluminancia Media Horizontal	160 Lux
Eficiencia Energética	6,67 W/m <sup>2</sup>
Tecnología Existente	Halógena en tubos T12

Fuente: Elaboración Propia.

La situación actual del taller es crítica puesto que posee una iluminación de baja eficiencia, lo cual no cumple la norma establecida de 500 lux (RETILAP, 2021). En este tipo de áreas se debe

asegurar confort visual para prevenir accidentes y realizar un trabajo optimo. Por tal motivo, se recomienda realizar un cambio en la iluminación:

Se podría pensar en sustituir los tubos halógenos T12 por unos T8 o LED:

Tabla 8.

*Diferentes tipos de tecnologías disponibles y Lúmenes emitidos.*

<b>Tecnología</b>	<b>T8</b>	<b>T12</b>	<b>LED</b>
Potencia por instalar (W)	1290	1728	458
Iluminancia, Em (Lux)	601	537	520
Cantidad de luminarias requeridas	15	18	12

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede inferir de un análisis de la Tabla 8 que la tecnología LED es la mejor opción para realizar el cambio de luminarias, ya que tiene la potencia instalada más baja. Esto resultará en un ahorro significativo tanto en costos como en energía, y además cumple con las normas RETILAP.

También se llevó a cabo un análisis de eficiencia energética, el cual se calcula utilizando el Índice de Eficiencia Energética (IEE), cuya unidad de medida son los watts por metro cuadrado por cada 100 lux. La Tabla 9 muestra como este índice permite evaluar el proyecto energéticamente. Cuanto más eficiente sea la tecnología, menor será el índice (IEE).

Tabla 9.

*Eficiencia energética vs tecnología.*

<b>Tecnología</b>	<b>T8</b>	<b>T12</b>	<b>LED</b>
Eficiencia energética (W/m <sup>2</sup> )	17,92	24	7,96

Fuente: Elaboración Propia.

Según el análisis realizado visualizado en la Tabla 8, la tecnología LED es la alternativa más favorable a usar ya que su índice es el más bajo, por lo tanto, es la más eficiente.

**6.4.4 Otras recomendaciones resultado de la auditoría.** Se podría pensar en unir estas 2 alternativas: banco de capacitores y motores nuevos para reducir al máximo este consumo de potencia reactiva.

## 6.5 Costo de implementación de las soluciones propuestas.

Un análisis que se puede realizar es de ahorro energético y económico: Para lo cual se conoce que la empresa trabaja 8 horas al día, durante 24 días del mes y que el precio del kWh es de \$ 349,8 (ver Tabla 10).

Tabla 10.  
*Análisis de ahorro energético y económico.*

TECNOLOGÍA DE ILUMINACIÓN	ENERGÍA CONSUMIDA		COSTO POR MES
	DIA (kWh)	MES (kWh)	
<b>T8</b>	7,74	170,28	\$ 59.598
<b>T12</b>	10,368	228,096	\$ 79.834
<b>LED</b>	2,748	60,456	\$ 21.160

Fuente: Elaboración Propia.

Según el análisis realizado en la Tabla 10, se puede observar que la tecnología LED, es la opción que menos consume energía, asimismo es la que posee un menor costo que se verá reflejado en la factura de la energía.

Por último, se realizó un estudio de retorno de la inversión donde uno de los factores más importantes para la toma de decisiones es reducir el costo de inversión y el tiempo de recuperación, ver Tabla 11.

Tabla 11.  
*Costo total y unitario de las tecnologías disponibles.*

TECNOLOGÍA	COSTO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
<b>T8</b>	15.000	15	225.000
<b>T12</b>	15.500,00	18	279.000
<b>LED</b>	12.500,00	15	187.500

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 11 se puede evidenciar que la tecnología LED, es la opción que posee un menor costo de inversión de instalación, por lo tanto, la hace rentable, con un gran beneficio/costo. Pero es de gran importancia reconocer factores importantes en el momento de realizar el cambio de luminarias, se debe de tener claro algunas especificaciones técnicas como lo es el costo de las luminarias, la vida útil expresada en horas, flujo luminoso (en lúmenes) y la potencia que consumirán dichas luminarias; tanto por parte de las luminarias que están instaladas actualmente como las luminarias que se dan de sugerencia, ver Tabla 12.

Tabla 12.  
*Costos vs vida útil de las luminarias*

Iluminaria TIPO T12 (actuales)			
Costo luminaria	Horas vida útil	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lúmenes)
\$ 279000	20000	1728	4500
Iluminaria Tipo LED (sugerida)			
Costo luminaria	Horas vida útil	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lúmenes)
\$ 187500	50000	458	3674

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en las Tabla 12, se tiene una mejoría empezando por el costo que tienen las luminarias (siendo la de menor costo el tipo LED), se tiene una gran mejoría en la vida útil, pues las luminarias que se encuentran instaladas actualmente cuentan con muy poco tiempo de uso, siendo las luminarias tipo LED de una mayor durabilidad en el tiempo de uso.

Partiendo de lo antes mencionado, el costo de la energía por hora (kWh) se encuentra en \$ 349,8 por lo cual, al realizar los respectivos cálculos de energía consumida, costo de energía y ahorro, se puede visualizar lo siguiente, ver Tabla 13.

Se nota un gran ahorro energético al comparar las tecnologías (instaladas T12; sugeridas LED) un ahorro que se encuentra en 7 kWh diarios, para lo cual da un ahorro en costos de \$ 2,667 diarios, representando anualmente un ahorro de \$ 704,088. Ahora el retorno de la inversión será en 70,3 días o 2,34 meses o 0,1926 años, volviendo a indicar que esta tecnología tipo LED es la más

adecuada al cumplir con los requisitos planteados por la norma y la forma más adecuada de ahorrar energía eléctrica.

Tabla 13.  
*Energía consumida, costo y ahorro de las luminarias.*

<b>VARIABLES</b>	<b>T12</b>	<b>LED</b>
Energía consumida diaria kWh	10, 368	2,784
Energía consumida mes kWh	228,096	60,456
Energía consumida año kWh	2737,152	725,472
Costo de energía diaria (\$/kWh)	\$ 3.629	\$ 9,62
Costo de energía mes (\$/kWh)	\$ 79.834	\$ 21,160
Costo de energía año (\$/kWh)	\$ 958.003	\$ 253,915
Ahorro diario (\$)	\$ 2.667	\$ 2,667
Ahorro mensual (\$)	\$ 58.674	\$ 58,674
Ahorro anual (\$)	\$ 704.088	\$ 704,088

Fuente: Elaboración propia.

## 7. Conclusiones

El análisis de los consumos energéticos realizado a la empresa permitió definir su estado actual e identificar los sistemas que realizan mayores consumos, en este caso los motores eléctricos y las luminarias, lo cual a su vez define la ruta a seguir en cuanto ahorro energético y dinero. Por tal motivo, se piensa realizar un cambio de luminarias por tecnología LED, ya que esta tecnología reúne todas las condiciones requeridas para este tipo de edificaciones.

Mediante una búsqueda bibliográfica se pudo definir las tecnologías y sus características en cuanto a iluminación se trata y las cuales están disponibles en el mercado T8, T12 y LED, lo cual permitió realizar una comparación entre estas y definir la ideal desde el punto de vista económico, energético, vida útil e iluminación.

Mediante el estudio de prefactibilidad realizado se nota un gran ahorro energético al comparar las tecnologías (instaladas T12; sugeridas LED) de 7 kWh diarios, para lo cual representa un ahorro en costos de \$ 2,667 diarios, representando anualmente en \$ 704,088. Ahora el retorno de la inversión será en 70,3 días o 2,34 meses o 0,1926 años, volviendo a indicar que esta tecnología tipo LED es la más adecuada al cumplir con los requisitos planteados por la norma y la forma más adecuada de ahorrar energía eléctrica.

El cambio de los motores actuales por unos nuevos de alta eficiencia reduciría en un 60 % el consumo de potencia reactiva, lo cual representa uno \$ 69'263.298 pesos colombianos en un año. Siendo este un valor considerable el cual permitiría la compra de unos nuevos de alta eficiencia recuperando la inversión en menos de 1 año.

La reducción en el consumo de energía eléctrica sería importante para la empresa de Mecanizados S.A.S debido al ahorro económico que este representa. Además, su rápida amortización en el tiempo de retorno de inversión mejoraría la rentabilidad de la empresa

## 8. Referencias Bibliográficas

- Bitfab. (2023). Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/fresadoras/>
- ELHERALDO. (9 de Marzo de 2016). Obtenido de <https://www.elheraldo.co/local/cuanto-consumen-los-electrodomesticos-de-su-casa-al-mes-247900>
- energy. (19 de septiembre de 2019). Obtenido de [https://energypedia.info/images/3/39/20190919\\_Guia\\_de\\_auditoria\\_energ%C3%A9tica.pdf](https://energypedia.info/images/3/39/20190919_Guia_de_auditoria_energ%C3%A9tica.pdf)
- Espinoza, A. P., & Fernandez, J. B. (2018). *Universida de la Rioja*. Obtenido de <https://dianelt.uniroja.es>
- FLUKE. (12 de OCTUBRE de 2022). Obtenido de <https://www.fluke.com/es-es/productos/catalogos>
- Foronuclear. (2023). Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/como-se-clasifican-las-fuentes-de-energia/#:~:text=Primarias%20y%20secundarias&text=Las%20primarias%20son%20las%20que,de%20transformaci%C3%B3>
- Gonzalez, H. J. (2007). Obtenido de <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/cc520228-1008-4ce4-8fce-332ceb69b107/content>
- HELLER. (2019). Obtenido de [https://www.hellermaquinaria.com/que-es-un-torno-mecanico/#:~:text=%E2%80%8B%20E1%20torno%20mec%C3%A1nico%20se,puntos%20de%20centraje%20\(contrapunto\)](https://www.hellermaquinaria.com/que-es-un-torno-mecanico/#:~:text=%E2%80%8B%20E1%20torno%20mec%C3%A1nico%20se,puntos%20de%20centraje%20(contrapunto))
- Hernandez, E. G. (2024). *Bitfab*. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/fresadoras/>
- Iturbe, M. (8 de Julio de 2022). *CaloryFrio*. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/medicion-y-calculo/herramientas-de-medicion-para-eficiencia-energetica-en-edificios.html#analizador-redes-electricas>
- Máquinas. (2018). *Escuela Tecnica Superiro de Ingenieria*. Obtenido de [https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/405\\_ca.pdf](https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/405_ca.pdf)
- Minenergía. (2024). Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/eficiencia-energ%C3%A9tica/>
- Murcia. (2015). Obtenido de [https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=FD%20152%20taladro%20vertical%20de%20columna1.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=166465&RASTRO=c911\\$m6407,4580,9781](https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=FD%20152%20taladro%20vertical%20de%20columna1.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=166465&RASTRO=c911$m6407,4580,9781)

- Pepeenergy. (2024). Obtenido de <https://www.pepeenergy.com/blog/glosario/definicion-potencia-nominal/>
- Plenaenergía. (29 de Junio de 2022). Obtenido de <https://www.plena-energia.com/post/energia-activa-reactiva#:~:text=En%20pocas%20palabras%2C%20la%20activa,se%20le%20llama%20energ%C3%ADa%20reactiva.>
- RETILAP. (2021). Obtenido de <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/2021/Resoluci%C3%B3n%20180540%20de%202010.pdf>
- Rodriguez, P. (2012). Obtenido de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/manual-de-soldadura-electrica.pdf>
- Sanchez, J. (2017). *Tecnológico de Monterrey*. Obtenido de [https://repositorio.tec.mx/ortec/bitstream/handle/11285/631223/13\\_t5s2\\_c5\\_pdf\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20potencia%20reactiva%20es%20la,capacitores%20para%20su%20correcto%20funcionamiento.](https://repositorio.tec.mx/ortec/bitstream/handle/11285/631223/13_t5s2_c5_pdf_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20potencia%20reactiva%20es%20la,capacitores%20para%20su%20correcto%20funcionamiento.)
- tier4. (2019). Obtenido de <https://www.tier4.com.mx/auditorias-electricas/>
- Vasquez, G. P., & Silva, J. O. (Noviembre de 2022). <https://pirhua.udep.edu.pe/>. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4791/IME\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4791/IME_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)