



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS DE GANDIA



# Estudio de una auditoría energética de una empresa industrial siderúrgica.

---

Carla Sánchez Gómez  
Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ciencias Ambientales  
Curso 2023/2024  
Tutora: Sonia Pérez Yáñez  
Cotutora: Carmen Gómez Benito



ÍNDICE	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	2
3. METODOLOGÍA.....	2
4. DESARROLLO .....	3
4.1 Descripción de la empresa .....	3
4.2 Objeto .....	3
4.3 Alcance .....	4
4.4 Metodología de trabajo.....	4
5. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES .....	5
5.1 Oficinas .....	5
5.2 Expediciones.....	5
5.3 Fundición.....	5
5.4 Taller mecánico .....	6
5.5 Edificios auxiliares.....	6
6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ACTIVIDAD .....	7
7. ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN ENERGÉTICA .....	8
7.1 Ratio de consumo por tonelada EQ.....	8
7.2 Datos de consumo total.....	9
8. ESCALA DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA .....	10
9. ENERGÍA VERDE .....	10
10. HORNOS DE FUSIÓN.....	11
10.1 Refrigeración de los hornos.....	11
10.2. Propuesta de mejora: Sistema de recuperación de calor.....	11
10.3 Propuesta de mejora: parada controlada de hornos durante el periodo de vacaciones .....	12
11. AIRE COMPRIMIDO .....	12
11.1 Propuesta de mejora: Control y seguimiento de fugas.....	13
11.2 Propuesta de mejora: Instalación de válvulas de corte en las líneas de aire comprimido de uso puntual .....	13
11.3 Propuesta de mejora: Instalación de válvulas de corte en las líneas de alimentación a las máquinas .....	14
11.4 Propuesta de mejora: Sistema de recuperación de calor .....	14
12. ILUMINACIÓN .....	15
12.1 Propuesta de mejora: Evaluación de las luminarias .....	15
12.2 Propuesta de mejora: Sustitución de luminarias en expediciones.....	15
12.3 Propuesta de mejora: Sustitución de luminarias en taller mecánico .....	15
13. CONTADORES.....	16

13.1 Propuesta de mejora: Contadores legibles de forma remota .....	16
13.2 Propuesta de mejora: Reemplazar contadores de electricidad .....	16
14. CLIMATIZACIÓN Y CALEFACCIÓN .....	16
14.1 Propuesta de mejora: Termostatos para estancias de uso común con equipos de climatización.....	16
14.2 Propuesta de mejora: Contadores .....	17
15. ENERGÍA RENOVABLE .....	17
15.1 Propuesta de mejora: Proyecto solución fotovoltaica.....	17
16. CONFORMIDADES Y NO CONFORMIDADES .....	18
17. CONCLUSIONES .....	20
18. BIBLIOGRAFÍA.....	22

## RESUMEN

Este trabajo aborda la creciente demanda energética en un contexto de recursos no renovables menguantes y cambio climático. Se destaca la importancia de la eficiencia energética y las energías renovables, especialmente en sectores industriales como la siderurgia, enfrentando desafíos económicos y ambientales. Se propone explorar el rol crucial de las auditorías energéticas como herramientas para mejorar la eficiencia y reducir costos, con un enfoque específico en la industria siderúrgica, analizando metodologías y prácticas destacadas.

## LABURPENA

Lan honetan, gero eta handiagoa den energia-eskaera aztertzen da, behera doazen baliabide ez-berriztagarriak eta klima-aldaketa ardatz gisa daukan testuinguruan. Energia-eraginkortasunaren eta energia berriztagarrien garrantzia azpimarratzen da, batez ere siderurgiaren industri-sektoreetan, ekonomia- eta ingurumen-erronkei aurre eginez. Energia-ikuskaritzen funtsezko eginkizuna aztertzea proposatzen da, eraginkortasuna hobetzeko eta kostuak murrizteko tresna gisa, siderurgia-industriaren sektorean, arlo zehatz horretan zehaztuak diren metodologiak eta praktikak aztertuz.

## SUMMARY

This work addresses the increasing energy demand in a context of diminishing non-renewable resources and climate change. It highlights the importance of energy efficiency and renewable energies, particularly in industrial sectors such as steel production, facing economic and environmental challenges. It proposes to explore the crucial role of energy audits as tools to enhance efficiency and reduce costs, with a specific focus on the steel industry, analyzing noteworthy methodologies and practices.



## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido a las mejoras tecnológicas y un mundo cada vez más automatizado, la sociedad demanda una cantidad mayor de energía. En cambio, los recursos energéticos no renovables tienen en su capacidad de abastecimiento una tendencia negativa, poniendo en peligro la desaparición de las reservas de estos. Además, el cambio climático que sufre nuestro planeta por la contaminación y la disminución de la capa de ozono de la atmósfera hacen que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> sea de suma importancia. Debido a este aterrador escenario la eficiencia energética y el uso de energías renovables son temas muy relevantes tanto para particulares como para empresas, si bien la concienciación de un uso responsable de la energía resulta crucial [1].

Por otro lado, el avance tecnológico ha facilitado la disponibilidad de equipos más eficientes, reduciendo su consumo, además de impulsar la innovación en energías renovables. En este contexto, se vuelve decisivo llevar a cabo estudios para identificar oportunidades de mejora en las instalaciones existentes, como la renovación de equipos obsoletos, con el objetivo de optimizar el rendimiento energético y reducir el impacto ambiental [2].

En la búsqueda de un desarrollo sostenible y una gestión eficiente de los recursos, la industria enfrenta desafíos significativos en cuanto a la optimización de sus procesos y la reducción de su impacto ambiental [3]. En este contexto, las auditorías energéticas emergen como una herramienta fundamental para identificar oportunidades de mejora en el uso y la eficiencia energética dentro de las instalaciones [4].

En el caso de la industria siderúrgica, caracterizada por su alta demanda energética y su complejidad operativa, esta se encuentra constantemente presionada por la necesidad de reducir costos, cumplir con regulaciones ambientales cada vez más estrictas y mantener su competitividad en un mercado globalizado [5]. En este sentido, las auditorías energéticas se presentan como un recurso esencial para evaluar el consumo de energía, identificar áreas de ineficiencia y proponer medidas correctivas que no solo contribuyan a la reducción de costos operativos, sino también a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad [6].

Por ende, este trabajo se propone explorar en profundidad la importancia y los beneficios de las auditorías energéticas en la industria siderúrgica, analizando casos de herramientas metodológicas y mejores prácticas aplicables a este sector específico. Se abordará la relevancia de implementar un enfoque sistemático y holístico en la realización de auditorías energéticas, considerando no solo los aspectos técnicos y tecnológicos, sino también los aspectos organizativos, económicos y regulatorios que influyen en la gestión energética. Asimismo, se examinarán las barreras y desafíos que enfrentan las empresas siderúrgicas al

llevar a cabo auditorías energéticas, así como las estrategias y recomendaciones para superar estos obstáculos y maximizar los beneficios derivados de la optimización energética.

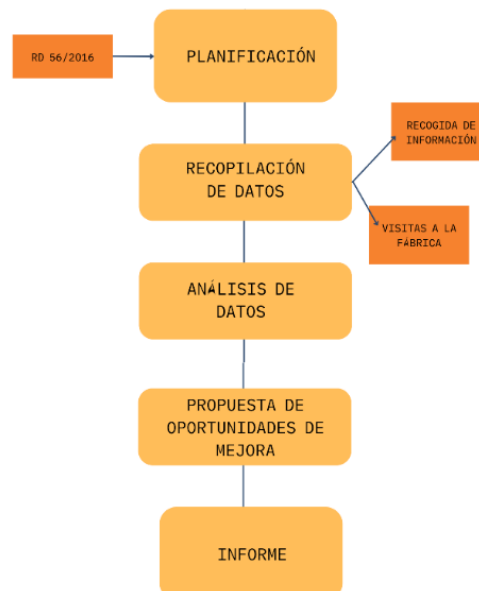
## 2. OBJETIVOS

El presente estudio se basa en una auditoría energética de la empresa industrial siderúrgica “Castmetal Vitoria”. La auditoría es una auditoría real, con datos y estudios reales, en la que los datos han sido modificados por cuestiones de confidencialidad. Por lo tanto, se establece como real el objetivo de este estudio, siendo este la disminución del consumo energético, que es el principal objeto de estudio de la mayoría de auditorías energéticas que se llevan a cabo. El objetivo principal de esta auditoría energética es lograr una reducción en el consumo de energía de la empresa mediante la implementación de mejoras en la eficiencia energética de sus servicios [7]. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo de fin de grado son:

- Analizar la importancia de las auditorías energéticas en la industria siderúrgica.
- Identificar los beneficios de las auditorías energéticas.
- Explorar metodologías y mejores prácticas aplicables.
- Analizar barreras y desafíos.
- Proponer estrategias y recomendaciones.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la elaboración del TFG comprende las secuencias que se observan en la Figura 1 [8].



**Figura 1.** Proceso de la metodología a seguir para la elaboración del TFG.



Para ello, los pasos realizados en este TFG han sido, en primer lugar, realizar una planificación definiendo el tema, objetivos y un cronograma (en este caso un diagrama de Gantt). Tras revisar la legislación a cumplir, se diseñó la metodología adecuada para la recopilación de datos. Después se analizaron los datos aplicando métodos cualitativos, y en base a los resultados, se identificaron las áreas de mejora para desarrollar posibles propuestas de mejora. Finalmente, se redactó el informe siguiendo la estructura del índice propuesto en la planificación.

### 4. DESARROLLO

#### 4.1 Descripción de la empresa

CastMetal Vitoria (Safemetal), con domicilio en la Calle Jundiz 25, 01015, Vitoria-Gasteiz (Álava), es una empresa que se dedica a la fundición de acero moldeado, con gran experiencia en el sector ya que se inició en el mismo hace 10 años. Cuenta con aproximadamente 200 empleados, estos trabajan en 3 turnos que se distribuyen de la siguiente manera: de 06:00h a 14:00h, de 14:00h a 22:00h y de 22:00h a 06:00h. Por este motivo, la fábrica se mantiene activa las 24 horas del día, de lunes a viernes. En planta siempre hay personal, menos en las oficinas que mantienen un turno flexible que se suele iniciar a las 08:00h o 09:00h y suele acabar a las 17:00h o 18:00h. Opera en diferentes sectores como en el de la siderurgia y el mecanizado [9]. Esta auditoría responde a la situación de exigencia establecida en la actual Ley 4/2019 en la que se indica, en su Artículo 29 , Apartado 2, que pertenece a “Tipo II: grandes empresas, grandes industrias de conformidad con lo establecido en el RD 56/2016, de 12 de febrero, por el que se traspone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía, o en la normativa que lo sustituya.” [23-24].

#### 4.2 Objeto

La auditoría energética tiene como finalidad definir el alcance para el cumplimiento de la actual Ley 4/2019 de Sostenibilidad energética en la CAV.

El objetivo de la auditoría de eficiencia energética es de:

- Dar cumplimiento al RD 56/2016 de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía [9].

- Dar cumplimiento a la actual Ley 4/2019 de 21 de febrero de sostenibilidad energética de la Comunidad Autónoma Vasca tal y como se indica en el Título III (Sector privado), Capítulo I (Sector Industrial), Artículo 30 (Auditorías energéticas) que se encuentra desarrollado por el Decreto 254/2020 de 10 de noviembre.
- Detectar los principales factores que afectan al consumo energético.
- Definición de las posibles medidas de ahorro energético.
- Plantear las posibles actuaciones futuras.

#### 4.3 Alcance

El objetivo principal de la auditoría es identificar las medidas de mejora en eficiencia energética, que maximicen los ahorros energéticos y cuya aplicación implique el mínimo impacto posible.

Respecto al inventario de los equipos consumidores, se llevará a cabo una contabilidad energética de los consumos asociados a los horarios de uso propios o estimados (kWh). Esta inspección se fundamentará en verificaciones visuales, el estudio de los equipos instalados y los datos de funcionamiento. Asimismo, se proporcionará una indicación de las características técnicas principales de cada equipo inventariado.

Para el análisis de consumo se recopilará la facturación energética de los últimos 12 meses y se realizará un registro de uso significativo de los distintos usuarios de la instalación.

También se realizará la distribución de consumo por sistemas o tecnologías presentes en la instalación, a fin de poder determinar el peso específico de cada uno de ellos sobre el consumo total según norma UNE-EN 216501.

Para el estudio y propuesta de la eficiencia energética se propondrán medidas y recomendaciones generales en eficiencia energética de aplicación a la tipología y características particulares de CastMetal Vitoria (Safemetal) [10]:

- Descripción técnica de la propuesta.
- Fuente de suministro sobre la que afecta la propuesta.

#### 4.4 Metodología de trabajo

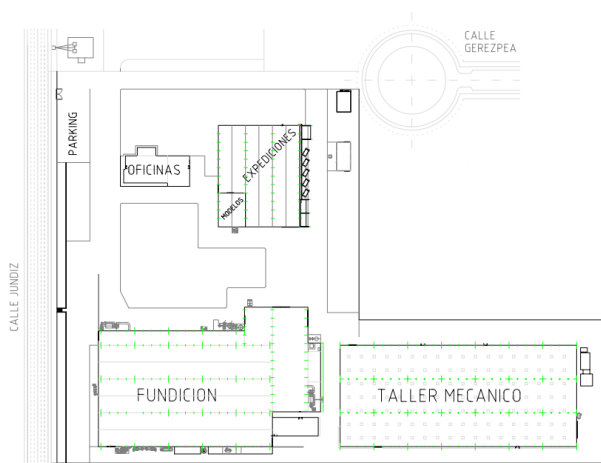
La metodología seguida para la realización de esta auditoría ha sido la siguiente [10]:

- Caracterización de la situación actual.
- Obtención de datos.
- Análisis de datos.
- Desarrollo de propuestas de mejora.
- Conformidades y no conformidades.

- Informe y presentación de resultados.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

La planta consta de 4 naves principales: un edificio de oficinas, un almacén de producto terminado y utillajes (en el que existe un pequeño taller de reparación de utillajes), una planta de fundición y acabado de piezas de acero y un taller de mecanizado (Figura 2). Además, existen otros pequeños edificios auxiliares: una caseta junto al pódico de alta tensión, un edificio de celdas de alta tensión, un edificio de compresores y una caseta con la Estación de Regulación y Medida (ERM) de gas natural [11].



**Figura 2.** Plano general de la planta [11].

### 5.1 Oficinas

Edificio de hormigón, de dos plantas, medidas en planta 18,5x38 m con una altura total de 6,5 m, sobre una planta de 650 m<sup>2</sup> [11].

### 5.2 Expediciones

Nave de estructura metálica, de 6 m de altura, paredes de ladrillo hasta 2 m de altura y resto en chapa prelacada, tejado de uralita. En su interior alberga, separada mediante paredes del mismo tipo el taller de reparación de utillajes de moldeo (modelos) equipado con un puente grúa, herramientas para madera (torno, cepillo, taladros, lijadora de platos, sierra de cinta y herramienta portátil) [11].

### 5.3 Fundición

4 naves adosadas de estructura metálica, paredes de ladrillo o bloque de hormigón hasta 2 m de altura y resto en chapa prelacada (sándwich aislado con fibra de vidrio en la nave original). Junto a la nave de fusión se halla adosado un edificio de hormigón que alberga los centros de transformación de los hornos y sus instalaciones auxiliares (refrigeración y aspiración de humos) (392,4 m<sup>2</sup>) [11].

#### 5.4 Taller mecánico

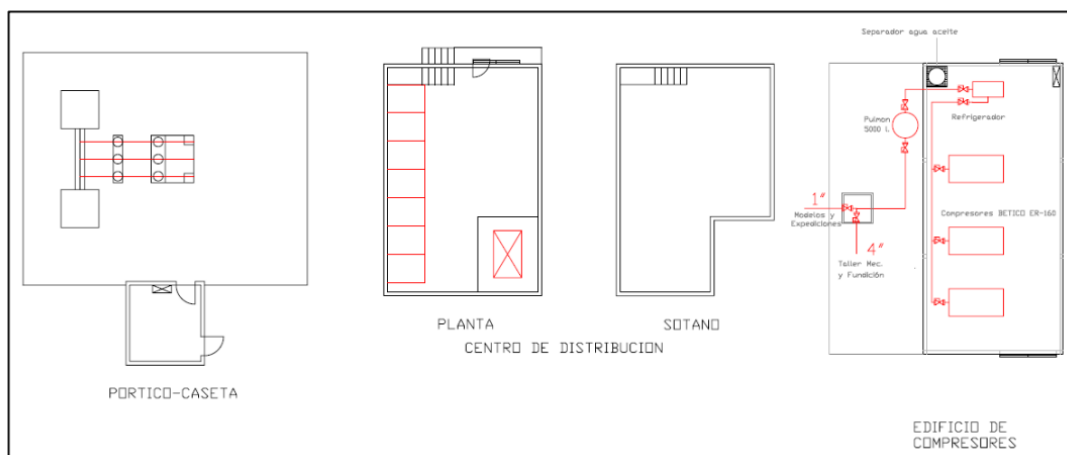
Nave de 6 m de altura de 60x140 m, con cerchas en celosía cerrada con ladrillo hasta 2 m de altura y resto en chapa sándwich aislada con fibra de vidrio, cubierta de chapa de perfil grecado y tela asfáltica, con claraboyas de iluminación. Es una nave continua, sin divisiones interiores, y cuenta con los servicios de distribución de agua, energía eléctrica y aire comprimido y una instalación de aire caliente (aeroterma) de 450 Kcal/h por combustión de gasóleo. Además, tiene 350 m<sup>2</sup> de oficinas y 200 m<sup>2</sup> de aseos y vestuarios, en niveles de bajo y planta, con acceso a la planta por medio de escaleras metálicas exteriores a las oficinas, pero dentro de la nave [11].

#### 5.5 Edificios auxiliares

En la Figura 3 se muestra el plano de una pequeña caseta que existe junto al pórtico de la acometida de alta tensión, este alberga el contador principal de energía eléctrica y el sistema de control de tarifas. La línea de entrada es de 30 kV.

También se muestra el edificio de celdas en la que la línea de entrada de energía eléctrica llega directamente del pórtico a este edificio, donde se encuentran las celdas para un seccionamiento independiente en alta tensión por áreas de consumo y un transformador que alimenta a los compresores, edificio de expediciones y modelos y edificio de oficinas. De la caseta de celdas se distribuye a los transformadores de: taller mecánico 1.250 kVA, servicios planta fundición 2.000 kVA, horno de arco planta fundición 4.000 kVA, horno de inducción planta fundición 3.430 kVA, y servicios (caseta de celdas) 1.000 kVA.

Por último, se encuentra el edificio de compresores que alberga 3 compresores BETICO LK-3, con una potencia total instalada de 200 CV cada uno en una sala de 15x8 m con portones de acceso en las fachadas norte y sur, equipado con dos pulmones de acumulación, sistemas frigoríficos de secado de aire y recogida de purgas para separación de aceites [11].



**Figura 3.** Edificios de compresores, pórtico de acometida y centro de distribución [11].

La Figura 4 muestra la caseta ERM de gas natural, con válvulas de reducción de presión, contadores y válvulas de seccionamiento. Se alimenta de la línea de alta presión del polígono y se encuentra situada frente al edificio de oficinas, en la linde con la calle Jundiz [11].

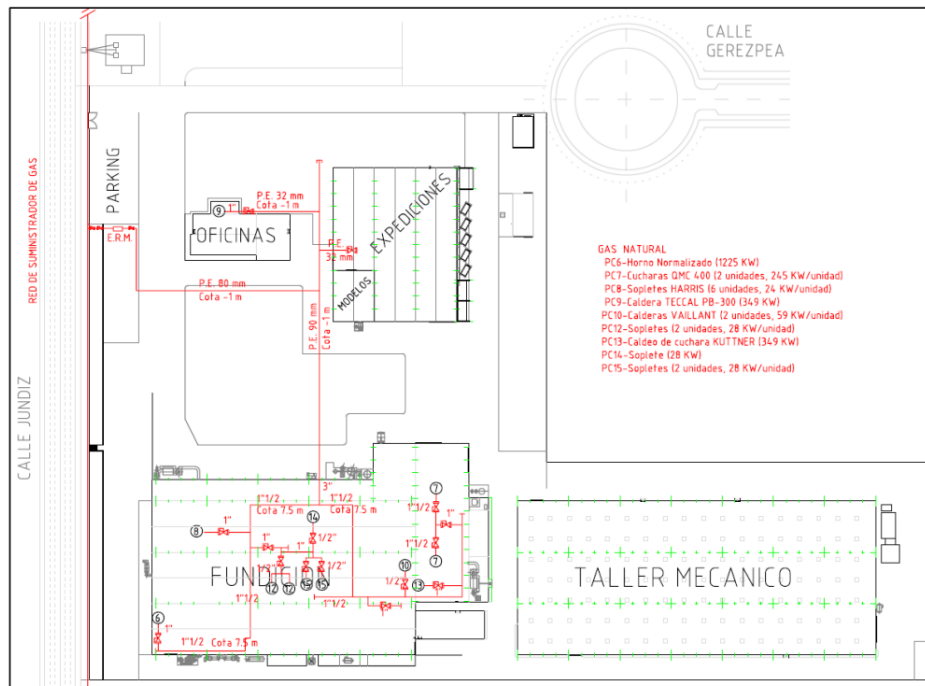


Figura 4. ERM, línea de distribución y puntos de consumo de gas [11].

## 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ACTIVIDAD

La actividad de CASTMETAL es la fundición y mecanizado de piezas fundidas de acero moldeado para maquinaria pesada de obras públicas y, en menor medida a la industria del ferrocarril y otros sectores [11]. El proceso productivo de la empresa se describe gráficamente en el esquema de flujo representado en la Figura 5.

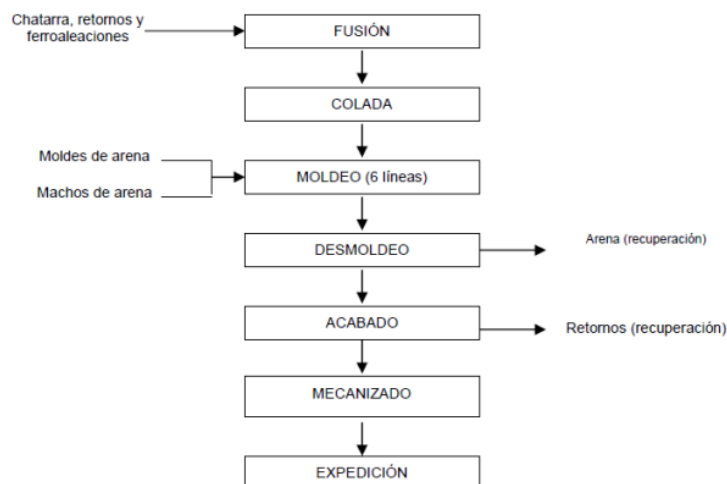


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso productivo de CASTMETAL [11].

## 7. ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN ENERGÉTICA

En el marco de la auditoría energética realizada en CastMetal Vitoria (Safemetal), se ha llevado a cabo un análisis de las facturas de energía correspondientes al periodo de enero 2023-diciembre 2023 y se ha realizado un análisis enfocado en dos aspectos clave: La ratio de consumo por tonelada equivalente (EQ) y los datos de consumo total. A continuación, se presentan los resultados obtenidos [12]

### 7.1 Ratio de consumo por tonelada EQ

Se calculó la ratio de consumo de energía por tonelada EQ (equivalente) de producción siderúrgica para el periodo analizado. En la tabla 1 se detalla la ratio de consumo por tonelada equivalente dividido en trimestres. Los términos Q1, Q2, Q3 Y Q4 en el contexto de las ratios de consumo por tonelada EQ se refieren a los cuatro trimestres del año. Estos trimestres son especialmente útiles para analizar la distribución de un conjunto de datos y para identificar patrones de consumo, variaciones y tendencia. Este indicador proporciona una medida de la eficiencia energética en relación con la producción, permitiendo evaluar el rendimiento energético de la empresa de manera más precisa. En cuanto a la electricidad se observa un incremento en Q1, esto es debido tanto al uso de la calefacción como a las mejoras que deberían hacerse para mejorar la eficiencia. El gas muestra una evolución no lineal, incrementando su consumo en Q1, esto se debe a la falta de implantación de estrategias de mejora energética. Por último, el agua muestra un aumento en Q3 debido a una razón operativa, hubo una fuga en la piscina de temple y revenido, tras solventarse la incidencia, se observa en Q4 que el consumo vuelve a disminuir.

**Tabla 1.** Ratio de consumo por tonelada EQ.

RATIO CONSUMO POR TONELADA EQ				
Fecha	Total en kWh	Electricidad (kWh)	Gas (kWh)	Agua ( M <sup>3</sup> )
2023				
Q1	4.376,95	3.308,36	1.068,58	3,17
Q2	4.189,56	3.232,12	957,44	2,98
Q3	4.297,56	3.287,47	1.010,09	3,25
Q4	3.604,49	2.763,48	841,01	2,25
TOTAL	16.469	12.591	3.877	12

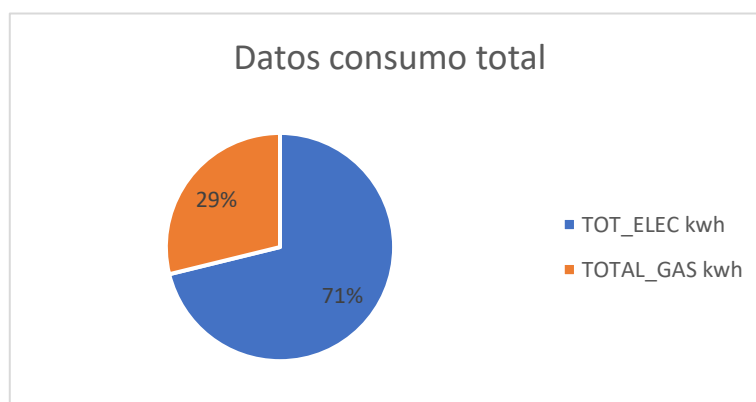
## 7.2 Datos de consumo total

Se recopilaron y analizaron los datos de consumo total de energía durante el periodo auditado. Los datos que se observan en la Tabla 2 muestran fluctuaciones significativas en el consumo de energía. De todos los datos analizados se observa que el periodo Q1 tiene un valor superior a los otros periodos analizados, dándose una disminución progresiva del consumo conforme van avanzando los trimestres, llegando al consumo más bajo en el Q4. Esta disminución es debida a la implementación de mejoras tales como los contadores, estos han permitido detectar averías, fugas y áreas de mejoras, disminuyendo así el consumo de la fábrica y abriendo el camino hacia futuras propuestas y planes de trabajo para conseguir un consumo inferior.

**Tabla 2.** Datos de consumo total.

DATOS CONSUMO TOTAL				
Consumo Total	Total en kWh	Electricidad (kWh)	Gas (kWh)	Agua ( M3)
2023				
Q1	7.997.381	5.224.707	2.772.674	4.975
Q2	7.368.081	4.878.293	2.489.788	4.445
Q3	5.683.655	3.635.213	2.048.442	3.593
Q4	5.621.371	3.549.911	2.071.460	2.808
<b>TOTAL</b>	<b>26.670.488</b>	<b>17.288.124</b>	<b>9.382.364</b>	<b>15.821</b>

En la Figura 6 se observan los datos de consumo total, el 71% del consumo tiene un origen eléctrico, mientras que el 29% correspondería al gas, el agua sería un dato despreciable.



**Figura 6.** Porcentaje de consumo total.

Es importante destacar que estos hallazgos son preliminares y requieren un análisis más detallado para identificar las causas subyacentes y formular recomendaciones específicas para mejorar la eficiencia energética de la empresa siderúrgica.

## 8. ESCALA DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

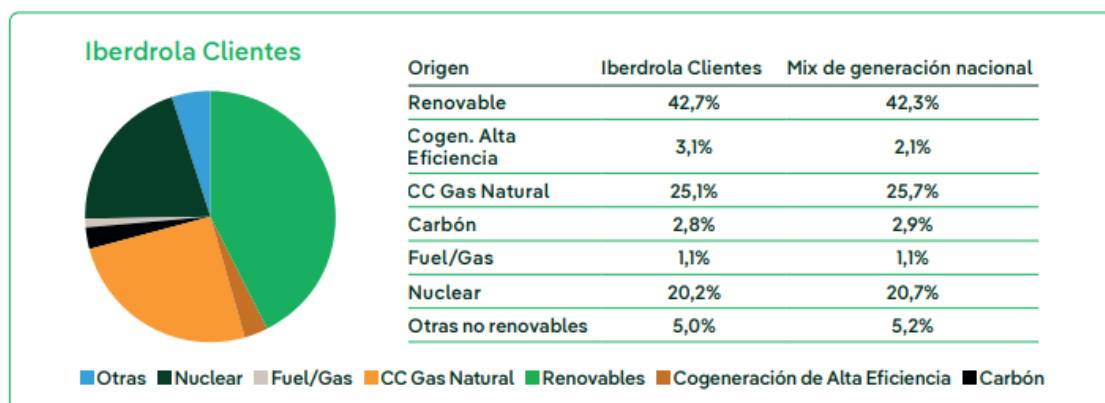
La empresa ha recibido una calificación energética de clase G en esta escala. Los parámetros analizados han sido: el año de construcción, la superficie, el consumo de diversas fuentes, y la energía utilizada. Como se observa en la Figura 7 esto indica que se encuentra en el nivel más bajo, lo que sugiere un consumo considerable y poco sostenible [13].



**Figura 7.** Escala de certificación energética. (Fuente: Eco proyecta).

## 9. ENERGÍA VERDE

La energía verde es aquella que se produce a partir de fuentes naturales renovables, Castmetal cuenta con esta forma de energía en su consumo como se observa en la Figura 8, el 42,7% de la energía obtenida en el 2022 fue de origen renovable [14].



**Figura 8.** Origen electricidad 2022. (Fuente: Iberdrola).



## 10. HORNOS DE FUSIÓN

Los hornos de fusión son elementos cruciales en el proceso de producción. La empresa cuenta con dos tipos de hornos de fusión: uno de inducción y otro de arco [11]. Se ha observado que el horno de inducción representa aproximadamente el 90% del consumo total de energía en esta fase del proceso. Los hornos funcionan en periodos los cuales el precio de la electricidad es menor [15].

### 10.1 Refrigeración de los hornos

Se ha observado que el sistema de refrigeración se encuentra constantemente en funcionamiento como medida de seguridad para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos. Este enfoque continuo en la refrigeración se debe a la necesidad de mantener la temperatura de la bobina dentro de los límites seguros durante el proceso de fusión. Interrumpir el sistema de refrigeración entre coladas podría ocasionar un calentamiento excesivo de la bobina, lo que a su vez podría afectar negativamente la eficacia del proceso de fusión y la integridad de los equipos, así como para garantizar la calidad y consistencia del producto final [15].

### 10.2. Propuesta de mejora: Sistema de recuperación de calor

El sistema de recuperación de calor propuesto para los hornos de fusión tiene como finalidad capturar y aprovechar el calor residual generado durante el proceso de fusión. Este sistema consta de los siguientes componentes clave [16]:

1. Intercambiadores de calor. Se instalan intercambiadores de calor en áreas estratégicas alrededor del horno de fusión para capturar el calor residual generado por los gases de escape y las superficies calientes del equipo. Estos intercambiadores están diseñados para transferir eficientemente el calor al medio de transferencia, que puede ser agua, aceite térmico u otro fluido térmico.
2. Circuito de fluido térmico. El calor capturado por los intercambiadores de calor se transferirá a través de un circuito de fluido térmico que transportará el calor recuperado a un punto de uso específico. Este circuito puede estar equipado con bombas para facilitar el flujo del fluido térmico a través del sistema.
3. Utilización del calor recuperado. El calor recuperado puede utilizarse para varios fines, como precalentar el aire de combustión antes de ingresar al horno de fusión, proporcionar calor para otros procesos industriales en la planta, o generar vapor para su uso en sistemas de calefacción o generación de electricidad.
4. Sistemas de control y monitoreo. Se implementarán sistemas de control y monitoreo para supervisar el funcionamiento del sistema de recuperación de calor y optimizar su rendimiento. Estos sistemas podrían incluir sensores de temperatura y presión, así

como controladores automáticos para regular el flujo del fluido térmico y garantizar un funcionamiento eficiente del sistema.

5. Aislamiento térmico. Se aplicará aislamiento térmico en las áreas del horno de fusión donde se instalan los intercambiadores de calor y las tuberías del circuito de fluido térmico para minimizar las pérdidas de calor y maximizar la eficiencia del sistema de recuperación.

### 10.3 Propuesta de mejora: parada controlada de hornos durante el periodo de vacaciones

Se propone un plan de parada controlada durante períodos de vacaciones y otros períodos de inactividad prolongada. Este plan podría incluir los siguientes pasos [15]:

1. Planificación anticipada. Se establecerá un calendario de vacaciones y otros períodos de inactividad en los que se implementará la parada. Esto permite una preparación adecuada y la coordinación con el personal de operaciones y mantenimiento.
2. Procedimiento de apagado seguro. Se desarrollará un procedimiento detallado para apagar los hornos de manera segura y eficiente.
3. Reinicio eficiente. Se llevará a cabo un procedimiento para reiniciar los hornos de fusión de manera eficiente una vez finalice el período de parada. Esto incluiría la verificación de todos los sistemas y equipos antes de reiniciar la producción, así como la implementación de medidas para minimizar el consumo de energía durante la puesta en marcha inicial.

La implementación de este plan conllevará los siguientes beneficios [15]:

- 1) Reducción significativa del consumo de energía.
- 2) Ahorro en costos operativos.
- 3) Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 11. AIRE COMPRIMIDO

La empresa cuenta con una red de aire comprimido que cuenta con tres compresores tipo tornillo. Uno de ellos fijo de 160 kW y dos son variables, siendo uno de 160 kW y otro de 110 kW. Los compresores se apagan cuando la fábrica está inactiva. La demanda de la instalación se ha optimizado al máximo ajustando la banda de presiones a 7,4-7,2 bares [17]. Este enfoque ofrece flexibilidad operativa y eficiencia energética al evitar el funcionamiento constante a plena carga de los compresores, lo que reduce los costos operativos y minimiza el desperdicio de energía. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora potencial en la gestión y control del sistema de aire comprimido.

### 11.1 Propuesta de mejora: Control y seguimiento de fugas

Para desarrollar la propuesta de mejora sobre el control y seguimiento de fugas en la red de aire comprimido, se siguen los correlativos pasos [17]:

1. Identificación de fugas. Implementar un programa de inspección regular para identificar y localizar posibles fugas en la red de aire comprimido. Esto puede incluir la inspección visual de conexiones, tuberías y equipos, así como el uso de herramientas de detección de fugas como ultrasonidos.
2. Registro y seguimiento. Establecer un sistema de registro para documentar todas las fugas identificadas, incluyendo su ubicación, tamaño y gravedad. Esto proporcionará información valiosa para priorizar las reparaciones y realizar un seguimiento del progreso a lo largo del tiempo.
3. Reparación o sustitución de equipos defectuosos. Una vez identificadas las fugas, se deben reparar o sustituir los equipos defectuosos, como válvulas, conexiones y accesorios, para detener las pérdidas de aire comprimido.
4. Programa de mantenimiento preventivo. Implementar un programa de mantenimiento preventivo para garantizar que los equipos de la red de aire comprimido estén en buenas condiciones de funcionamiento y minimizar la aparición de nuevas fugas en el futuro.
5. Monitorización continua. Instalar sistemas de monitorización continua para supervisar la presión y el consumo de aire comprimido en tiempo real. Esto permitirá detectar rápidamente cualquier anomalía que pueda indicar presencia de nuevas fugas o problemas en el sistema.

Al implementar estas medidas de control y seguimiento de fugas en la red de aire comprimido, la empresa podrá mejorar la eficiencia energética de sus operaciones, reducir los costos operativos y minimizar su impacto ambiental.

### 11.2 Propuesta de mejora: Instalación de válvulas de corte en las líneas de aire comprimido de uso puntual

Esta propuesta hace alusión a la colocación estratégica de válvulas en la red de aire comprimido para controlar el flujo de aire hacia áreas específicas que no requieren un suministro continuo de aire. Estas válvulas se instalan en puntos específicos de la red donde el aire comprimido se utiliza de manera intermitente o solo durante ciertos periodos de tiempo. Estas válvulas pueden ser operadas manualmente o de manera automática mediante sensores o temporizadores, dependiendo de los requisitos y la configuración del sistema. Para su instalación los pasos a seguir serían los siguientes [17]:

1. Selección de ubicaciones adecuadas: Es importante identificar y seleccionar las ubicaciones estratégicas donde se instalarán las válvulas de corte para maximizar su efectividad y minimizar las pérdidas de presión en la red de aire comprimido.
2. Etiquetado y documentación: Cada válvula de corte se etiquetará claramente para indicar su función y la zona que controla. Además, se elaborará una documentación detallada que incluya la ubicación de cada válvula, su número de identificación y fecha de instalación.
3. Mantenimiento y operación. Se establecerá un programa de mantenimiento preventivo para inspeccionar y lubricar periódicamente las válvulas de corte, así como para verificar su estanqueidad y funcionamiento.
4. Monitoreo y optimización. Se implementará un sistema de monitoreo continuo para supervisar el funcionamiento de las válvulas de corte y el consumo de aire comprimido. Se realizarán ajustes según sea necesario para optimizar el rendimiento del sistema y minimizar las pérdidas de aire.

### 11.3 Propuesta de mejora: Instalación de válvulas de corte en las líneas de alimentación a las máquinas

Las líneas de alimentación a las máquinas son componentes esenciales de un sistema de aire comprimido en un entorno industrial, que permite suministrar aire a presión a las máquinas y equipos que lo requieren para su operación [17]. En este caso se sugiere como propuesta de mejora el mismo sistema que en el apartado 11.2.

### 11.4 Propuesta de mejora: Sistema de recuperación de calor

Esta propuesta busca aprovechar el calor residual generado durante la compresión del aire para reducir el consumo de energía y los costos operativos [18]. Para ello hay que tener en cuenta los siguientes componentes clave:

1. Intercambiadores de calor. Se instalan en el sistema de aire comprimido para capturar el calor residual generado durante la compresión del aire. Estos intercambiadores transfieren eficientemente el calor al medio de transferencia, como agua o aceite térmico.
2. Utilización del calor recuperado. El calor recuperado puede utilizarse para calentar el aire de entrada a los compresores, lo que reduce la carga térmica en los compresores y mejora su eficiencia energética. También se puede utilizar para calentar agua o proporcionar calor para otros procesos industriales en la planta.
3. Sistemas de control y monitoreo. Se implementan sistemas de control y monitoreo para supervisar el funcionamiento del sistema de recuperación de calor y optimizar su rendimiento. Esto incluye sensores de temperatura y presión, así como controladores

automáticos para regular el flujo del fluido térmico y garantizar un funcionamiento eficiente del sistema.

## 12. ILUMINACIÓN

No se dispone de información detallada sobre el estado actual de las luminarias en las instalaciones de CastMetal Vitoria (Safemetal). Se requiere de una evaluación detallada para determinar la eficiencia y el rendimiento de las luminarias existentes. Anteriormente se han llevado a cabo algunos cambios en las luminarias, pero se desconoce el alcance y la eficacia de estos cambios [19].

### 12.1 Propuesta de mejora: Evaluación de las luminarias

Se propone realizar una evaluación detallada de las luminarias existentes en todas las áreas de la planta para determinar su eficiencia energética y su rendimiento actual, así como actualizar los planos existentes para poder trabajar de forma más eficiente en actuaciones futuras. Esta evaluación ayudará a identificar oportunidades de mejora, como la situación de luminarias obsoletas por modelos más eficientes, la instalación de sistemas de control de iluminación automatizados y la implementación de medidas de mantenimiento preventivo.

### 12.2 Propuesta de mejora: Sustitución de luminarias en expediciones

En las áreas de expediciones, actualmente hay un sistema de iluminación que incluye luminarias antiguas y convencionales. Estas luminarias no solo consumen una cantidad significativa de energía, sino que también pueden proporcionar una iluminación por debajo de los luxes requeridos, pudiendo representar un riesgo de seguridad. Por ello se propone la sustitución de todas las luminarias existentes por luces LED de alta eficiencia energética. Las luces LED no solo consumen menos energía, sino que también tienen una vida útil más larga y proporcionan una iluminación más brillante y uniforme, lo que mejora las condiciones de trabajo y reduce los riesgos de accidente [19].

Además, se propone la instalación de detectores que permitirán que las luces se enciendan automáticamente cuando detecten la presencia de personas en el área y se apaguen cuando no haya actividad, lo que optimizará aún más el uso de energía y reducirá los costos operativos [19].

### 12.3 Propuesta de mejora: Sustitución de luminarias en taller mecánico

Se propone la sustitución de las luminarias antiguas por luces LED de alta eficiencia energética en el taller mecánico. Además, se sugiere la instalación de detectores de presencia en los pasillos y en el comedor del taller. Estos detectores permitirán que las luces se enciendan automáticamente cuando se detecte la presencia de personas en estas áreas, y se

apaguen cuando no haya actividad. Estas medidas no solo reducirán el consumo de energía, sino que también mejorará la calidad de la iluminación en el área de trabajo [19].

### 13. CONTADORES

La planta actualmente cuenta con un total de 16 contadores para medir diferentes tipos de energías y recursos, incluyendo electricidad, agua y gas. Sin embargo, a excepción de los contadores generales, los contadores de electricidad y agua no son legibles de forma remota, lo que implica que se requiere una lectura manual para obtener la información de consumo.

Por otro lado, se dispone de 5 contadores de gas que están equipados con salidas de pulsos y son legibles de forma remota, lo que facilita el monitoreo y la gestión del consumo de gas en la planta [20].

#### 13.1 Propuesta de mejora: Contadores legibles de forma remota

Dado que no todos los contadores se pueden leer de forma remota, se llevará a cabo la instalación de equipos que permitan recopilar los datos de los contadores y transmitirlos de manera remota. Esto facilitará el acceso a la información de consumo y permitirá una gestión más eficiente de los recursos energéticos [20].

#### 13.2 Propuesta de mejora: Reemplazar contadores de electricidad

Se ha detectado que 6 contadores de electricidad ya no funcionan y necesitan ser reemplazados. Esta situación afecta a la capacidad de medir con precisión el consumo de electricidad en la planta. Por ello se propone reemplazar estos contadores por unos más eficientes que puedan medirse de forma remota [20].

### 14. CLIMATIZACIÓN Y CALEFACCIÓN

Actualmente se carece de datos detallados que permitan realizar una evaluación precisa de la situación de los sistemas de climatización y calefacción en las instalaciones. Es fundamental realizar una evaluación exhaustiva para recopilar información relevante, identificar posibles áreas de mejora y desarrollar un plan de acción para optimizar la eficiencia energética y el confort térmico en la empresa [21].

#### 14.1 Propuesta de mejora: Termostatos para estancias de uso común con equipos de climatización

Esta mejora tiene como objetivo principal optimizar el control de la temperatura en áreas de uso común, como salas de reuniones, áreas de descanso, y zonas de trabajo compartidas, mediante la instalación de termostatos individuales que permitan ajustar la climatización según las necesidades específicas de cada espacio [21]. Para llevar a cabo su implementación:

1. Evaluación de espacios. Realizar una evaluación detallada de los diferentes espacios de las instalaciones para determinar las necesidades de calefacción y la ubicación óptima e las válvulas termostáticas.
2. Seguimiento y mantenimiento. Establecer un programa de mantenimiento preventivo para asegurar el correcto funcionamiento y la durabilidad de las válvulas y el confort térmico de las instalaciones.

### 14.2 Propuesta de mejora: Contadores

Se propone la instalación de un contador adicional para la medición de la calefacción en la sala de calderas, este contador estará conectado al sistema de calefacción central y registrará de manera precisa la cantidad de energía utilizada para calentar las instalaciones. Con datos precisos sobre el consumo de energía, se podrá llevar a cabo un control más efectivo y una gestión más eficiente de los recursos energéticos, así como la detección de anomalías o problemas en el sistema, lo que facilitará la pronta corrección y evitará pérdidas innecesarias de energía [21].

## 15. ENERGÍA RENOVABLE

En CastMetal Vitoria, actualmente no se han implementado instalaciones de energía renovable. Esto significa que la planta depende de fuentes de energía convencionales para cubrir sus necesidades energéticas. Sin embargo, la incorporación de fuentes de energía renovable podría ser una estrategia beneficiosa tanto desde el punto de vista económico como ambiental [22].

### 15.1 Propuesta de mejora: Proyecto solución fotovoltaica

El proyecto de Solución Fotovoltaica se centra en ofrecer una alternativa sostenible y rentable para satisfacer las necesidades energéticas del demandante. Para lograrlo, se propone la implementación de un Acuerdo de Compra de Energía (PPA, *Power Purchase Agreement*) adaptado a las particularidades de consumo del demandante. El PPA es un contrato a largo plazo que establece un acuerdo de compra de energía entre el productor y el consumidor. En este caso, la energía será generada en las instalaciones del cliente o en instalaciones cercanas, adoptando la modalidad de consumo colectivo. La duración del PPA será flexible, oscilando entre 10 y 20 años, lo que garantiza una relación estable y beneficiosa a largo plazo para ambas partes [22].

El PPA se estructura en función del consumo específico de energía del cliente. Esto significa que cuanto más energía fotovoltaica generada se consuma directamente en las instalaciones del cliente, mejores precios se obtienen. Esta modalidad incentiva el uso eficiente de la energía renovable y promueve la autosuficiencia energética [22].

## 16. CONFORMIDADES Y NO CONFORMIDADES

En este apartado se van a exponer las conformidades y no conformidades de las áreas estudiadas. Las conformidades se refieren a aquellos aspectos, prácticas y procedimientos que cumplen con los estándares, normas y objetivos establecidos. Por otra parte, las no conformidades se refieren a aquellas áreas donde la organización no cumple con los criterios establecidos para la eficiencia energética [25]. Estas conformidades y no conformidades se han dictado de acuerdo con lo establecido en la Ley 4/2019, de 21 de febrero, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca [23] y el RD 56/2016 [24].

### Hornos

#### Conformidades

- Aprovechamiento de periodos de menor precio de la electricidad. La empresa está aprovechando periodos de menor precio de la electricidad para operar los hornos, lo que indica un esfuerzo por optimizar los costos energéticos durante la producción.
- Propuesta de mejora del sistema de recuperación de calor. Se ha propuesto la implementación de un sistema de recuperación de calor para los hornos de fusión. Lo que demuestra un compromiso con la eficiencia energética y la reducción del consumo de energía.
- Plan de parada controlada en hornos durante el periodo de vacaciones. Se ha desarrollado un plan para realizar paradas controladas de los hornos durante períodos de vacaciones y otras inactividades prolongadas, lo que considera una consideración activa para reducir el consumo de energía cuando no es necesario el funcionamiento de los equipos.

### Aire comprimido

#### Conformidades

- Optimización de la demanda de aire comprimido. La empresa ha ajustado la banda de presiones a la red de aire comprimido para optimizar su demanda, esta acción está alineada con los principios de eficiencia energética promovidos por el RD 56/2016 y la ley 4/2019 de sostenibilidad energética de la Comunidad Autónoma Vasca.
- Apagado de los compresores durante la actividad. Los compresores se apagan cuando la fábrica está inactiva, lo que indica un esfuerzo por minimizar el consumo de energía durante los períodos de no producción, esta acción es consistente con las disposiciones



del RD 56/2016 y la ley 4/2019, que enfatizan la necesidad de optimizar el uso de la energía.

- Propuesta de mejora y control de seguimiento de fugas. Sugiere una iniciativa para mejorar la eficiencia del sistema y reducir pérdidas de energía.

## **Iluminación**

### Conformidades

- Propuestas de mejora para la evaluación y sustitución de luminarias. Las propuestas de mejora para realizar una evaluación detallada de las luminarias existentes y sustituir las luminarias obsoletas por modelos más eficientes están alineadas con los objetivos de eficiencia energética establecidos en la ley 4/2019.

## **Contadores**

### Conformidades

- Uso de contadores para medir diferentes tipos de energía y recursos. El uso de contadores para medir electricidad, agua y gas en la planta está alineado con los principios de seguimiento y gestión de recursos energéticos promovidos por la ley 4/2019 de sostenibilidad energética de la Comunidad Autónoma Vasca.

## **Climatización y calefacción**

### Conformidades

- Propuestas de mejora para optimizar el control y la medición: Las propuestas de mejora para la instalación de termostatos individuales en áreas de uso común y la instalación de un contador adicional para la medición de la calefacción muestran un enfoque proactivo hacia la optimización de la eficiencia energética y la gestión adecuada de los recursos energéticos.
- La planta muestra un enfoque proactivo hacia la adopción de energía renovable, lo cual está alineado con los objetivos de promoción de la eficiencia energética y el uso de energías renovables establecidos en el RD 56/2016 y la ley 4/2019 de sostenibilidad energética de la Comunidad Autónoma Vasca.

## 17. CONCLUSIONES

En este trabajo final de grado se ha abordado la realización de una auditoría energética en la empresa industrial siderúrgica "Castmetal Vitoria", con el objetivo principal de lograr una reducción en el consumo de energía mediante la implementación de mejoras en la eficiencia energética de sus servicios. A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas en base a los objetivos establecidos.

La auditoría energética realizada ha demostrado ser una herramienta fundamental para identificar oportunidades de mejora en la eficiencia energética dentro de la industria siderúrgica. Este tipo de auditorías permite evaluar detalladamente los patrones de consumo energético y establecer una línea base a partir de la cual se pueden medir los avances y las mejoras implementadas.

La auditoría ha revelado numerosos beneficios para la empresa, entre los cuales destacan la reducción de costos operativos, la disminución de la huella de carbono y la mejora en la competitividad de la empresa. Además, ha proporcionado una mayor visibilidad y control sobre el uso de la energía, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible de los recursos energéticos.

Durante el proceso de auditoría, se han explorado diversas metodologías y mejoras prácticas que pueden ser aplicadas para mejorar la eficiencia energética. Entre estas se incluyen la implementación de sistemas de gestión energética, la optimización de procesos industriales y la adopción de tecnologías más eficientes. Estas prácticas no solo contribuyen a la reducción del consumo energético, sino que también mejoran la productividad y la sostenibilidad de la empresa.

Una vez obtenidos los resultados, se han propuesto varias estrategias y recomendaciones para mejorar la eficiencia en la empresa, tales como la realización de inversiones en tecnologías más eficientes, el establecimiento de metas y objetivos claros en término de reducción del consumo energético. Del mismo modo, se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo y control continuo que permita evaluar el progreso y realizar ajustes necesarios en tiempo real.

En conclusión, la auditoría energética en "Castmetal Vitoria" ha sido una experiencia reveladora y transformadora. Este proyecto no solo ha demostrado que es posible reducir costos y disminuir la huella de carbono a través de la eficiencia energética, sino que también ha puesto de manifiesto una verdad fundamental: la sostenibilidad no es una opción, sino una responsabilidad ineludible. Cada mejora implementada, cada tecnología adoptada, no solo

impacta en el balance final de la empresa, sino que también contribuye a la preservación de nuestro planeta. Reflexionando sobre los resultados, queda claro que la verdadera transformación va más allá de los números; es un cambio de mentalidad, una evolución hacia una forma de operar que respeta y protege los recursos naturales. Este proyecto nos desafía a pensar en el legado que dejamos y nos invita a ser agentes de cambio en un mundo que clama por soluciones sostenibles. En definitiva, la eficiencia energética no es solo una meta alcanzable, sino un compromiso continuo con un futuro más limpio y equitativo.

## 18. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Siclari Bravo, P. G. (2020). Amenazas de cambio climático, métricas de mitigación y adaptación en ciudades de América Latina y el Caribe. CEPAL.
- [2] Ekidom. (17 de septiembre de 2023). Innovación en Energías Renovables: Últimas Tendencias y Avances Tecnológicos.
- [3] Energy Master Analytics S.A.S. (18 de agosto de 2023). La Gestión de Recursos y Características del Desarrollo Sostenible.
- [4] Luga asesores. (13 de mayo de 2024). Importancia de las Auditorías Energéticas en la Eficiencia Energética.
- [5] Boero Vargas, D., & Chan, M. (26 de abril de 2024). ¿Qué tecnologías permitirán una industria siderúrgica más limpia?
- [6] Letter Ingenieros. (s.f.). Auditoría energética para empresas.
- [7] AIN. (2016, 1 de marzo). Metodología de auditoría común para determinar las posibles medidas de ahorro de energía en las PYMEs del sector del metal aplicables a nivel de la UE.
- [8] MOROTE, José Luis. Auditorías energéticas. Fases y desarrollo [en línea]. OVACEN. 2017 [consulta: 10 marzo 2019].
- [9] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Desarrollo de la empresa [Comunicación personal].
- [10] NIRAS IP CONSULT GmbH. (2019). Guía para realizar una auditoría energética.
- [11] Laíseca, I., & Sedano, D. (2019). Documento Único de Suelos de la Planta de Castmetal Vitoria, S.L., ubicada en Vitoria-Gasteiz (Álava).
- [12] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Análisis de la facturación energética [Comunicación personal].
- [13] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). Calificación energética de edificios.
- [14] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Factura de la luz [Comunicación personal].
- [15] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Información sobre los hornos [Comunicación personal].
- [16] Villar Menéndez, J. A. (2014). Aprovechamiento de calor residual en industrias de proceso continuo y su aplicación en productos intermedios de acería.

- [17] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Aire comprimido [Comunicación personal].
- [18] Puska. (s.f.). Recuperación del calor en una instalación de aire comprimido.
- [19] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Luminarias [Comunicación personal].
- [20] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Contadores [Comunicación personal].
- [21] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Climatización y calefacción [Comunicación personal].
- [22] Castmetal Vitoria (Safemetal). (2024) Energía renovable [Comunicación personal].
- [23] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital [MEYATAD]. (2016). Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía. «BOE» núm. 38, de 13 de febrero de 2016, páginas 11655 a 11681 (27 págs.).
- [24] Gobierno Vasco. (2019). Ley 4/2019, de 21 de febrero, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca. Boletín Oficial del País Vasco.
- [25] Mapex. (s.f.). No conformidades de calidad: qué son y cómo acabar con ellas. Recuperado de [<https://mapex.io/news/no-conformidades-definicion-y-tratamiento/>]