



Universidad Nacional
de San Martín

Proyecto Final Integrador Ingeniería en Energía

AUDITORÍA ENERGÉTICA EN UNA MICROCEVECERÍA

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente trabajo, se realizó una evaluación energética de una microcervecería localizada en el Parque Industrial Buen Ayre, Zona Oeste del Gran Buenos Aires, Argentina. Para ello, se siguieron los lineamientos definidos por la norma ISO 50.001 de Sistemas de Gestión de la Energía, particularmente el apartado referente a la revisión energética. A su vez, se utilizó el modelo de auditoría energética de nivel 1, descripto en la norma ISO 50.002.

Se analizaron los datos de la facturación energética y se determinaron los consumos anuales de gas licuado y electricidad. Además, se relevaron los principales equipos que utilizan tanto energía eléctrica como gas licuado de petróleo y se estimaron los consumos respectivos. En particular, se estimaron los consumos de vapor y se calculó la eficiencia energética de la caldera utilizada para el abastecimiento de estos. Luego, se identificaron las oportunidades de mejora del desempeño energético, las inversiones asociadas y sus periodos de repago. Finalmente, se plantearon indicadores de desempeño energético adecuados para llevar seguimiento y una serie de objetivos para avanzar en la gestión energética del establecimiento.

La planta tiene un consumo anual de energía de 210.221 kWh, lo cual representa un costo total de \$1.256.318/año, siendo el gasto de electricidad responsable del 66% de dicho monto, mientras que el gas natural licuado representa el 34% restante. Los usos significativos de la energía son la generación de vapor (50%) y los procesos de refrigeración (37%).

Con relación a la factura eléctrica, se estimó un potencial ahorro económico anual de \$64.194 por la optimización de la contratación de la potencia eléctrica y la compensación del factor de potencia. Asimismo, se identificaron oportunidades de mejora en el desempeño energético, que totalizan un potencial de ahorro energético anual del 16,8%, equivalente a un ahorro económico de \$176.750.

Alumno	Supervisor	Aprobó
Ignacio Stocker	Hernán Iglesias Furfaro	Salvador Gil Santiago Nicolás Jensen Mariani
Firma del alumno: Aclaración:	Firma del supervisor: Aclaración:	Fecha de realización: 09/03/2021 Última edición: 13/05/2021 Empresa: Cervecería Los Vascos S.A.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. ANTECEDENTES	2
1.4. MARCO TEÓRICO	3
1.4.1. Uso Racional de la Energía	4
1.4.2. Eficiencia Energética	4
1.4.3. Sistema de Gestión de la Energía – Norma ISO 50.001	4
1.4.4. Auditoría Energética – Norma ISO 50.002	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1. SITIO EN ESTUDIO	11
2.2. ALCANCE DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA	11
2.3. PROCESO PRODUCTIVO	12
2.3.1. Cocimiento	13
2.3.2. Fermentación y Maduración	15
2.3.3. Filtración y Carbonatación	16
2.3.4. Envasado de Cerveza	16
2.4. FACTURACIÓN DE ENERGÍA	17
2.4.1. Energía Eléctrica	17
2.4.2. Gas Licuado de Petróleo	18
2.5. MEDICIÓN DE ENERGÍA	18
2.5.1. Energía Eléctrica	18
2.5.2. Gas Licuado de Petróleo	19
2.6. ESTIMACIÓN DE CONSUMOS	20
2.6.1. Consumos Eléctricos	20
2.6.2. Consumos de Vapor	21
2.7. EFICIENCIA DE LA CALDERA	22
2.7.1. Método Directo	23
2.7.2. Método Indirecto	24
2.8. LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA	27
3. RESULTADOS	28
3.1. ENERGÍA ELÉCTRICA	28
3.1.1. Análisis Tarifario	28
3.1.2. Reconstratación de Potencia	29
3.1.3. Compensación de $\cos(\varphi)$	30

3.1.4. Potencia Eléctrica Instalada	31
3.1.5. Consumos Eléctricos	32
3.1.6. Línea de Base de Energía Eléctrica	32
3.2. ENERGÍA TÉRMICA	34
3.2.1. Tarifa de GLP	34
3.2.2. Consumos de Vapor	34
3.2.3. Eficiencia Energética de la Caldera	34
3.3. DIAGRAMA DE PARETO	36
4. OPORTUNIDADES DE MEJORA	39
4.1. SISTEMA DE VAPOR	39
4.2. REFRIGERACIÓN	43
4.3. OTRAS OPORTUNIDADES	44
4.3.1. Aire Comprimido	44
4.3.2. Iluminación	45
4.3.3. Oficinas	45
4.3.4. Sistemas de Bombeo	45
4.3.5. Motores Eléctricos	46
4.3.6. Cargadores de Batería	46
4.4. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA	46
4.4.1. Indicadores de Desempeño	46
4.4.2. Objetivos, Metas y Planes de Acción	47
4.5. RESUMEN DE OPORTUNIDADES	48
5. CONCLUSIONES	50
6. BIBLIOGRAFÍA	52
7. ANEXOS	55
7.1. EQUIPOS DE PROCESO	55
7.2. FACTURACIÓN ENERGÉTICA	58
7.3. MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	58
7.4. RELEVAMIENTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO	58
7.5. RELEVAMIENTO DEL CONSUMO DE VAPOR	58
7.6. DATOS DE PRODUCCIÓN Y GRADOS DÍA DE REFRIGERACIÓN	58
7.7. RESUMEN DE AUDITORÍA	58

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: RESUMEN DETALLADO DE AUDITORÍA NIVEL 1.	9
TABLA 2: RESUMEN DETALLADO DE AUDITORÍA NIVEL 2.	9
TABLA 3: RESUMEN DETALLADO DE AUDITORÍA NIVEL 3.	10
TABLA 4: CUADRO TARIFARIO DE EDENOR TARIFA T2.	18
TABLA 5: DETALLE DE LA FACTURACIÓN DE GLP.	18
TABLA 6: PLANILLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CONSUMO ELÉCTRICO.	21
TABLA 7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MODELO DE LA CALDERA DE VAPOR.	21
TABLA 8: RESUMEN DEL CÁLCULO DE RECONTRATACIÓN DE POTENCIA.	30
TABLA 9: RESULTADOS DEL CÁLCULO ECONÓMICO DEL CAPACITOR.	30
TABLA 10: CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR HORA.	35
TABLA 11: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EFICIENCIA POR MÉTODO DIRECTO.	35
TABLA 12: PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN Y POR RADIACIÓN DE LA CALDERA.	35
TABLA 13: PÉRDIDAS POR RADIACIÓN Y CONVECCIÓN (VALORES PORCENTUALES).	36
TABLA 14: PÉRDIDAS POR LOS GASES DE COMBUSTIÓN.	36
TABLA 15: PÉRDIDAS POR LOS GASES INQUEMADOS.	36
TABLA 16: ACCIONES DE MANTENIMIENTO DE LA CALDERA.	40
TABLA 17: REGISTRO DE PRESIONES Y TEMPERATURAS.	41
TABLA 18: OPORTUNIDADES DE MEJORA DEL SISTEMA DE VAPOR.	42
TABLA 19: PLANILLA DE REGISTRO Y REPARACIÓN DE PÉRDIDAS DE AIRE COMPRIMIDO.	44
TABLA 20: INDICADORES DE DESEMPEÑO ESTABLECIDOS PARA EL CASO ANALIZADO.	47
TABLA 21: VALORES ACTUALES DE LOS INDICADORES EN LA FÁBRICA.	47
TABLA 22: PLAN DE ACCIÓN DEFINIDO PARA EL CASO DE ESTUDIO.	48
TABLA 23: RESUMEN DE LAS OPORTUNIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO.	49

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: EJEMPLO DE DIAGRAMA DE PARETO.	6
GRÁFICO 2: EJEMPLO DE DIAGRAMA DE DISPERSIÓN.	7
GRÁFICO 3: CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA REALIZACIÓN DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA.	12
GRÁFICO 4: CONSUMOS DE ENERGÍA ACTIVA.	29
GRÁFICO 5: PARTICIPACIÓN RELATIVA DE CARGOS EN LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA.	29
GRÁFICO 6: POTENCIA CONTRATADA Y POTENCIA ADQUIRIDA.	30
GRÁFICO 7: MATRIZ DE POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA.	31
GRÁFICO 8: MATRIZ DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA FÁBRICA.	32
GRÁFICO 9: CONSUMO DE ENERGÍA VERSUS PRODUCCIÓN DE CERVEZA.	33
GRÁFICO 10: CONSUMO ENERGÉTICO VERSUS GRADOS DÍAS DE REFRIGERACIÓN.	33
GRÁFICO 11: PARTICIPACIÓN RELATIVA DE CARGOS EN LA FACTURACIÓN DE GLP.	34
GRÁFICO 12: MATRIZ DE CONSUMOS DE VAPOR.	34
GRÁFICO 13: EFICIENCIA DE LA CALDERA POR MÉTODO INDIRECTO.	36
GRÁFICO 14: DIAGRAMA DE PARETO DE LOS USOS SIGNIFICATIVOS DE LA ENERGÍA.	37
GRÁFICO 15: DIAGRAMA DE PARETO DE LOS COSTOS DE LOS USOS SIGNIFICATIVOS DE LA ENERGÍA.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA.	5
FIGURA 2: DIAGRAMA DE PROCESO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA.	8
FIGURA 3: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA MICROCERVECERÍA.	13
FIGURA 4: ESQUEMA UNIFILAR BÁSICO DE LA FÁBRICA.	19

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: UBICACIÓN DE LA PLANTA.	11
ILUSTRACIÓN 2: ANALIZADOR DE REDES CIRCUTOR CVM-NRG96.	19

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: CHAPA CARACTERÍSTICA (IZQ.) Y MEDIDOR DE NIVEL (DER.) DE TANQUE DE GLP.	20
IMAGEN 2: TIQUE IMPRESO POR EL DISPOSITIVO TESTO 310.	26
IMAGEN 3: BLOQUE DE COCCIÓN.	55
IMAGEN 4: PASTEURIZADOR TIPO TÚNEL (DER.) Y TANQUE DE AGUA CALIENTE (IZQ.).	55
IMAGEN 5: CALDERA (IZQ.) Y VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN (DER.).	56
IMAGEN 6: COLECTOR DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR (DER.) Y TANQUE DE RETORNO DE CONDENSADO (IZQ.).	56
IMAGEN 7: INTERCAMBIADOR DE CALOR (IZQ.) Y TANQUES DE FERMENTACIÓN (DER.).	56
IMAGEN 8: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.	57
IMAGEN 9: CONTENEDOR FRIGORÍFICO.	57
IMAGEN 10: INSTALACIÓN DE COMPRESIÓN DE AIRE.	57

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

El sector industrial consume cerca del 50% de energía primaria a nivel global, siendo el consumo final de mayor importancia (British Petroleum, 2019). Por lo tanto, la optimización del uso de la energía en el sector industrial es una herramienta clave para disminuir las emisiones globales de CO₂. Con relación a esto, el compromiso de las empresas, sean grandes o pequeñas y medianas (PyMEs) es esencial. Los obstáculos para desarrollar la eficiencia energética en PyMEs son varios: muchas no tienen la capacidad para asignar a un miembro de la empresa tareas de seguimiento energético; no poseen conocimiento acerca de las formas de financiación en eficiencia energética; las auditorías energéticas son menos frecuentes o nulas; no existe el monitoreo del consumo energético (Eurochambres, 2010).

En ese sentido, en Argentina las PyMEs no dejan de ser importantes, ya que representan el 98% del total de empresas del país. En Argentina, existe escasa información actualizada acerca del consumo energético de las PyMEs y su participación en el sector industrial. Pero, un informe elaborado por la Fundación Bariloche en el año 2004, estima que el consumo energético de las PyMEs representa un 33,9% del total de consumo del sector industrial. Respecto a la participación, en cantidad de empresas, por ramas dentro del sector industrial, la industria de alimentos y bebidas representa el mayor porcentaje, un 15,7%. Adicionalmente, se estima que las empresas de alimentos y bebidas representan un 28% del consumo energético de las PyMEs, siendo el de mayor participación (Eficiencia Energética en Argentina, 2019). En consecuencia, las medidas de ahorro energético y eficiencia energética implementadas en este sector, van a tener un gran impacto en la matriz energética y las emisiones globales.

La producción de cerveza artesanal argentina es un sector que ha ganado participación en el mercado de la cerveza durante los últimos 8 años (Lipkind, Bruzone y Stanciu, 2018). En la actualidad, este sector ocupa cerca del 2,5% del mercado cervecero, siendo el 97,5% restante ocupado por las grandes compañías. A pesar de ello, este sector creció una media de 40% entre 2013 y 2018, llegando a totalizar la cantidad de 1.500 productores de cerveza artesanal registrados en todo el país (Risso, 2018). A raíz de los aumentos tarifarios en energía eléctrica y gas en los últimos años, gran parte de estos productores tomaron consciencia sobre los impactos que tienen estos en su matriz de costos, siendo que los costos energéticos representan desde un 8% a un 30% en los casos más extremos (EEA, 2019). Más aún, los consumos energéticos presentan grandes oportunidades de ahorro económico y oportunidades de mejora de la competitividad del sector, en comparación con otros gastos como son la mano de obra y la materia prima.

A tal problema, este trabajo busca dar respuesta analizando la performance energética en una microcervecería particular. Para ello, se realizará una auditoría energética de nivel 1, según lo establecido por la norma ISO 50.002, para identificar los usos significativos de la energía de la fábrica. Luego, se identificarán las oportunidades de mejora del desempeño energético. Finalmente, se establecerán herramientas básicas para la futura implementación de un sistema de gestión de la energía (según la Norma ISO 50.001) adaptado a las características del establecimiento.

1.2. OBJETIVOS

A raíz de la problemática planteada, se establecieron el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo.

1.2.1. Objetivo General

- Realizar una auditoría energética de nivel 1, con el fin de conocer el perfil de consumo energético de la microcervecería.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Conocer los usos significativos de la microcervecería.
- Identificar las oportunidades de mejora del desempeño energético.
- Establecer lineamientos básicos para la futura implementación de un sistema de gestión de la energía adaptado a las características del establecimiento.

1.3. ANTECEDENTES

La eficiencia energética es un tema que concierne a las empresas a nivel global. Muchas de ellas han implementado auditorías energéticas para conocer su desempeño energético. Tal es el caso de La Despensa Natural SAS, una PyME panificadora del Valle del Cauca en Colombia. De acuerdo con los lineamientos de la norma ISO 50.002 de Auditorías Energéticas, esta empresa pudo detectar que su consumo energético no está asociado a la producción. Gracias a ello, se pudieron identificar oportunidades de ahorro energético, vinculadas con ciertos cambios en la operación y el mantenimiento (Larrahondo Chavez, 2019).

A nivel local, en Argentina, existen varias empresas que han realizado estudios de su consumo energético y han implementado con éxito la norma ISO 50.001 de Sistemas de Gestión de la Energía (SGE). Un ejemplo claro es el caso de AESA, que en su complejo industrial de la localidad de Canning logró implementar la norma con éxito. Una muestra de ello es que superaron el objetivo de eficiencia energética en su consumo de energía eléctrica. En un período de 2 años, obtuvieron una reducción del 6,6% en el consumo de electricidad, un ahorro mayor al 5% que se habían planteado como objetivo inicial. Asimismo, lograron que el consumo de energía sea un tema de interés en todos los niveles de la compañía (Clean Energy Ministerial, 2019).

Entre otras organizaciones, Mastellone Hermanos, Pampa Energía e YPF han implementado su propio SGE. Sin embargo, uno se podría preguntar si es factible aplicar la norma ISO 50.001 en una pequeña o mediana empresa. Mondino SRL es un claro ejemplo de que esto es posible y, aún más, obtener buenos resultados (CEM, 2019). Realizando un análisis detallado de su perfil de consumo diario, lograron detectar que un 20–25% de la energía estaba destinada a la compresión de aire. Por lo tanto, algunas de sus principales medidas fueron reducir o eliminar hábitos que tengan impacto negativo en el consumo de aire comprimido, reparar pérdidas y realizar cambios de accesorios en el sistema. Adicionalmente, se tomaron acciones sobre el planeamiento de la producción y el mantenimiento preventivo de las prensas hidráulicas, para

reducir la energía consumida. En consecuencia, en el lapso de un año, se lograron ahorros del 3,9% en el consumo de electricidad y del 13,9% en el consumo de GLP (Gas Licuado de Petróleo).

Respecto a los trabajos de revisión energética en cervecerías, hay varios ejemplos que se pueden citar. Un ejemplo es el caso de la Cervecería Antonio Díaz Santana, localizada en la provincia de Santa Clara, Cuba. Se realizó una caracterización del comportamiento energético, donde se detectaron los principales portadores energéticos, siendo la energía eléctrica y el fuel-oil el 94% del consumo. Gracias al trabajo realizado por Edney Rodríguez Navia (2015), se identificó que el 50,5% de la energía eléctrica proviene de los compresores de aire y que la generación de vapor cubre el 43,5% del fuel oil consumido. Mediante un diagnóstico integral, se evaluó el cumplimiento de los requisitos que exige la norma ISO 50.001 y se logró determinar que no existía una política energética consistente con la mejora continua del desempeño energético. En base a esto, se propusieron medidas para la mejora de la eficiencia energética como la remodelación o el reemplazo de calderas y del aislamiento de las tuberías de vapor, debido a su mal estado. También, se propusieron una serie de recomendaciones que permitan la mejora de los indicadores energéticos y que se trabaje en la implementación de la norma para su posterior certificación.

En Estados Unidos, el mercado de la cerveza artesanal o “craft” es más maduro y tecnológicamente más desarrollado que en Argentina. Gracias al empleo de revisiones energéticas, varias compañías cerveceras han encontrado soluciones innovadoras para reducir sus emisiones de GEI, mediante la reducción del uso de la energía y la generación renovable. En Kansas City, Estado de Missouri, Boulevard Brewing Company implementó un sistema de automatización de HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning). Este sistema permite un control por zona, de acuerdo con los requerimientos reales por hora. En esta cervecería, además, mejoraron la aislación térmica del brewhouse (sector de cocción) y el hall de almacenamiento debido al uso de un techo verde (Brewers Association, 2015).

En ese sentido, muchas de estas cervecerías han implementado estrategias para ahorrar energía térmica. Por ejemplo, Deschutes Brewery (Bend, Estado de Oregon) posee un novedoso sistema de recuperación de vapor desde el Brewing Kettle (BK), donde se hierva el mosto. Mediante un condensador de vapor, pueden precalentar agua para futuros lotes de mosto. También, esta cervecería implementó economizadores en la salida de gases de las calderas, que permite precalentar el agua de alimentación. Otro caso similar, es el de Harpoon Brewery que recupera condensado del sistema de vapor, para ahorrar en el calentamiento de agua. Por último, New Belgium Brewery recurrió a un diseño cónico del BK con un intercambiador interno que permite reducir los tiempos de proceso (BA, 2015).

1.4. MARCO TEÓRICO

Para un mayor entendimiento del lector acerca de los conceptos abarcados en este trabajo, es necesario realizar una serie de definiciones vinculadas a la temática. A continuación, se describen los conceptos de uso racional de la energía, eficiencia energética, auditoría energética y sistema de gestión de la energía.

1.4.1. Uso Racional de la Energía

El apagado de luminarias en ambientes desocupados o de equipos cuando no están en uso, o el seteo del termostato de los acondicionadores de aire en el verano a 24°C, en vez de 18°C, son medidas de uso racional de la energía. La Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética (2017) define que el *“uso racional de la energía”* comprende acciones de operación de equipos como el encendido/apagado y adopción de determinados niveles de los servicios energéticos prestados.

Este concepto está vinculado al comportamiento humano y los hábitos de consumo de cada individuo. También, se puede definir como el *“uso responsable de la energía”*, que consiste en el conjunto de actividades que buscan disminuir el consumo energético, mediante una utilización más inteligente del recurso (SAyEE, 2017).

1.4.2. Eficiencia Energética

Según la Agencia Internacional de Energía (2015), la eficiencia energética se define como:

“Práctica o forma de gestionar el crecimiento de la energía, obteniendo un resultado igual con menor consumo o un mayor resultado con el mismo consumo de energía.”

La eficiencia energética es un concepto físico que se define como el cociente entre el flujo energético aprovechable y el flujo consumido. Por ejemplo, en el caso de las lámparas la luz visible sería la energía aprovechable, mientras que la electricidad que energiza ese artefacto es la energía consumida (SAyEE, 2017). Por lo tanto, la eficiencia energética está relacionada al sistema o la tecnología de uso final.

1.4.3. Sistema de Gestión de la Energía – Norma ISO 50.001

Muchas empresas poseen diferentes sistemas de gestión dentro de su estructura organizacional. La parte del sistema dedicada a desarrollar e implementar la política energética de la organización, es el Sistema de Gestión de la Energía (SGE). Adicionalmente, un SGE permite gestionar aquellos elementos de las actividades, productos o servicios que interactúan con el uso significativo de la energía (International Standard Organization, 2018).

La Norma ISO 50.001 establece los requisitos que debe cumplir el SGE de una organización para poder mejorar su desempeño energético, considerando el uso de la energía, el consumo de la energía y la eficiencia energética. También, permite incrementar las ventajas competitivas de la empresa en el mercado que se desenvuelve, sin sacrificar su productividad (Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2013).

Esta norma está basada en el modelo ISO de sistemas de gestión y permite a la organización definir una estructura probada para conseguir la mejora continua de los procedimientos y los procesos. La misma detalla los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un SGE. Posee un enfoque sistémico, enmarcado en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA (Plan, Do, Check, Act), que significa: planificar, hacer, verificar y actuar.



Figura 1: Modelo de sistema de gestión de la energía (Fuente: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-2:v1:en>).

En primer lugar, “planificar” se focaliza en comprender el comportamiento energético, con el fin de instaurar los controles y objetivos para mejorar el desempeño energético de la organización. “Hacer” indaga en los procedimientos y procesos regulares, para optimizar el desempeño energético. Luego, “verificar” se centra en el monitoreo y la medición de los procesos y productos, en base a las políticas, los objetivos y las características clave de las operaciones, y en el reporte de los resultados. Por último, “actuar” consiste en la toma de acciones para mejorar continuamente el desempeño energético, teniendo en cuenta los resultados.

La norma ISO 50.001 presenta una serie de requerimientos para favorecer su implementación. Los procedimientos principales para observar y perfeccionar el desempeño energético conforman los llamados “*requerimientos medulares*”. Por otra parte, existen los “*requerimientos estructurales*” que proveen la estructura necesaria para darle un enfoque sistemático y controlado a la gestión energética.

1.4.3.1. *Requerimientos Medulares:*

La esencia del SGE está en las actividades medulares, ya que, si una organización se dedica a trabajar sólo en ellos, estará integrando el desempeño energético en sus variables de control. La primera actividad por realizar es la planificación energética, que consiste en analizar los usos de la energía actuales y pasados y definir las variables que afectan al desempeño energético. Para analizar los consumos de energía, identificar las áreas de uso significativo y detectar oportunidades de mejora en el desempeño energético es fundamental realizar una revisión energética. La forma más adecuada de realizar dicha revisión es mediante una auditoría energética.

1.4.3.1.1. *Revisión Energética:*

De acuerdo con los límites y el alcance del SGE, se identifican las fuentes de energía, recopilando los datos básicos de los equipos, los horarios de trabajo, las prácticas y el estado de las instalaciones. Luego, se realiza la medición y recolección de datos de consumo de cada fuente de energía, priorizando las áreas donde se han localizado mayores oportunidades de mejora. Para ello, se recomienda definir un instructivo para la adquisición, registro y almacenamiento de los datos de consumo energético. A partir de los datos obtenidos, es necesario desagregar el consumo en los diferentes usos de energía. Para ello, elaborar una matriz de usos energéticos facilita la identificación de los consumos significativos, siendo estos aquellos que tienen una participación importante en el consumo de energía y/o un potencial de mejora del desempeño energético considerable. Una herramienta recomendada para representar los usos significativos de la energía es el Diagrama de Pareto, que permite visualizar rápidamente a aquellos consumos que representan el 80% del total de la energía.

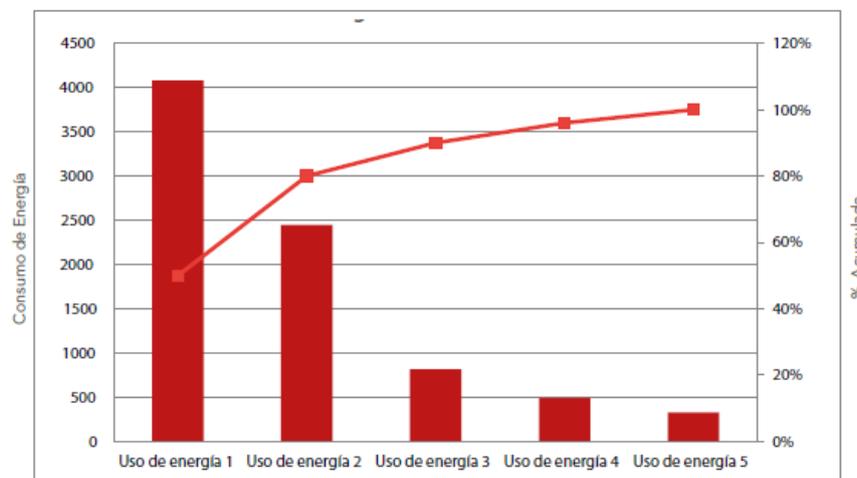


Gráfico 1: Ejemplo de diagrama de Pareto (Fuente: AChEE, 2013).

Con el fin de estimar y proyectar los consumos futuros de energía, es acertado analizar la influencia de diferentes variables que afectan a los consumos energéticos. Una herramienta para realizar esto es la “CUSUM Technic”, o suma acumulada, que consiste en graficar en un diagrama de dispersión el consumo energético en función de una variable independiente. Al realizar la regresión lineal se puede obtener la ecuación de la recta $y = a + bx$. Los parámetros a y b de esta recta se pueden calcular para el período analizado inicialmente. Luego, conociendo los valores de la variable independiente en un futuro, puede estimarse el consumo esperado de energía.

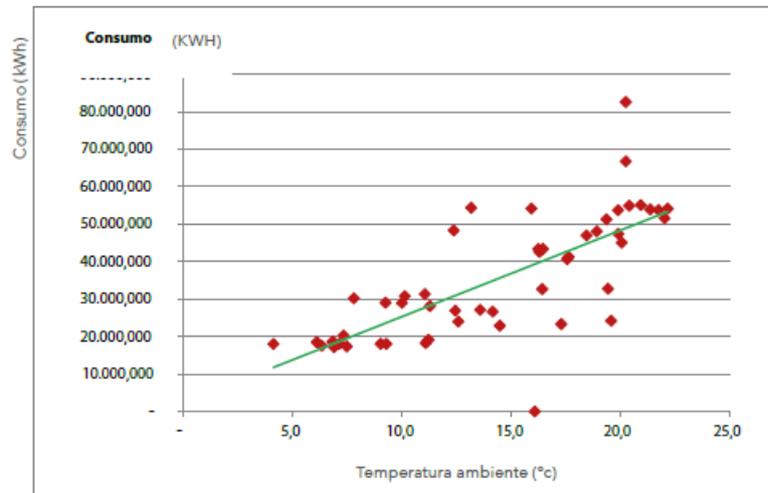


Gráfico 2: Ejemplo de Diagrama de Dispersión (Fuente: AChEE, 2013).

La etapa final de una revisión energética consiste en identificar, priorizar y registrar las oportunidades de mejora en el desempeño energético. La auditoría energética es una herramienta que ayuda a detectar estas oportunidades de mejora. A su vez, estas se clasifican en dos grandes grupos: las que no requieren gasto alguno (por ejemplo, cambio de hábitos de consumo, mantenimiento, regulación y programación, etc.) y las oportunidades que si necesitan de una inversión inicial (por ejemplo, la sustitución de equipos, el dimensionamiento de nuevas instalaciones, etc.)

1.4.3.1.2. Línea de Base Energética:

La siguiente actividad, entre los requerimientos medulares, consiste en establecer una línea de base energética que represente el comportamiento energético actual de la organización. Esta línea de base puede ser definida con la información de la primera revisión energética y representa el escenario más probable que hubiese ocurrido sin la implementación de un SGE. Establecer la línea de base energética permite evaluar los avances o retrocesos de la organización en relación con su desempeño energético.

1.4.3.1.3. Indicadores de Desempeño Energético:

Subsiguientemente, para realizar el monitoreo y medición del desempeño energético de la organización deben definirse los indicadores de desempeño energético (IDEs). Los IDEs son medidas cuantificables del desempeño energético de la organización. Estos consisten en parámetros que pueden medirse, por ejemplo, kWh/m², kWh/litro producido, MMBTU/litro producido. Como primer paso es recomendable realizar un listado de todos los IDEs adecuados a la organización. Estos van a depender fuertemente del rubro al cuál se dedique la organización. En base a los IDEs definidos, se establecen los objetivos, las metas energéticas y los planes de acción a llevar a cabo.

Las etapas anteriores están contenidas en la primera fase de implementación de un SGE, la planificación energética. A partir de esta, se desprenden los requerimientos de control operacional. En esta etapa, se definen los criterios con los que la organización va a operar en el marco del SGE. En la siguiente fase, se implementan controles y sistemas de reporte que faciliten el seguimiento del desempeño energético. Luego, la etapa final consiste en el diseño de

proyectos y procesos de adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía. Dado el caso de estudio, este trabajo se centra en la primera etapa.

1.4.4. Auditoría Energética – Norma ISO 50.002

Una auditoría energética consiste en el análisis del desempeño energético. Este análisis también puede aplicarse a uno o varios equipos, sistemas o procesos. Se basa en la medición y observación apropiadas del uso de la energía, el consumo de energía y la eficiencia energética. Una vez planificada, el fin de una auditoría energética es identificar y priorizar las oportunidades de mejora del desempeño energético, reducir el desperdicio de energía y obtener beneficios medioambientales. Como resultado, una auditoría energética, presenta información acerca del consumo energético y la performance actual. En base a ello, proporciona recomendaciones priorizadas según el impacto positivo en el desempeño energético y los beneficios financieros (ISO, 2014).

La auditoría energética es una herramienta utilizada para dar apoyo a una revisión energética y facilitar el seguimiento, medición y análisis descriptos en la Norma ISO 50.001 de Sistemas de Gestión de la Energía. La Norma ISO 50.002 de Auditorías Energéticas, se desprende del capítulo de revisión energética de la ISO 50.001. Esta norma es flexible en cuanto al enfoque, alcance, límites y objetivos de la auditoría. También, esta norma busca concertar los aspectos comunes de las auditorías energéticas para mejorar la claridad y transparencia (ISO, 2014). El proceso de auditoría energética consiste en varias etapas, que se describen a continuación en la Figura 2.

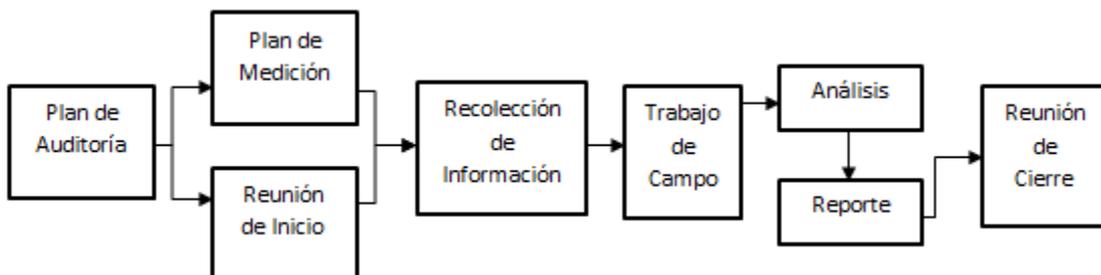


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética (Elaboración propia a partir de la Norma ISO 50.002).

1.4.4.1. Niveles de Auditoría Energética:

Dependiendo de la necesidad de la organización, 1 o más de las siguientes evaluaciones pueden ser seleccionadas como guía para determinar el alcance y el nivel de detalle de la auditoría (ver Tablas 1, 2 y 3). El nivel de detalle requerido por la auditoría depende del objetivo de la auditoría, los usos energéticos, el consumo energético y los recursos disponibles para realizar la misma. Por eso, como actividad preliminar, la norma ISO 50.002 recomienda definir, entre la organización y el auditor energético, si la información disponible permite un nivel superior de auditoría o no. Además, si fuese necesario, deberán acordar realizar mediciones adicionales previas a la auditoría.

Nivel de Auditoría 1	
Aplicación Típica	- Instalaciones, Procesos, Flotas. - Adecuada para auditoría de instalaciones pequeñas o auditoría preliminar de grandes instalaciones.

Necesidad de la Organización	- Indicar ahorros potenciales y beneficios previamente a realizar una auditoría más exhaustiva.
Recopilación de Datos	- Datos generales de energía, incluir perfil de carga si está disponible. - Datos de producción para determinar indicadores de desempeño energético.
Análisis	- Análisis de datos energéticos a partir de la revisión de la línea de base energética. - Aproximar un desglose de los usos finales de energía por proceso/tipo. - Revisión de perfiles diarios para identificar anomalías. - Comparación con benchmarks disponibles.
Identificación de Oportunidades	- Recorrido para identificar los usos de energía. - Identificar y cuantificar ahorros de bajo costo y fácil implementación. - Identificar medidas de mayor costo, sin profundizar sobre soluciones técnicas.
Evaluación de Oportunidades	- Ahorros típicos calculados teniendo en cuenta la línea de base energética. - Períodos de pago simple. - Esquema de pasos necesarios para generar acciones que pueden ser implementadas.

Tabla 1: Resumen detallado de auditoría nivel 1 (Fuente: Elaboración propia a partir de la Norma ISO 50002).

Nivel de Auditoría 2	
Aplicación Típica	- Sitio, Proceso o Flota Individual. - Auditoría energética detallada. - Generalmente no es económica para organizaciones con bajos costos energéticos.
Necesidad de la Organización	- Identificar y evaluar un rango considerable de oportunidades de ahorro, con sus costos y beneficios asociados. - Identificación de oportunidades que requieran mayor investigación. - Grupo de auditores con buen nivel técnico.
Recopilación de Datos	- Datos energéticos, incluido el perfil de carga diario. - Datos de sub-meters. - Libre acceso a toda la información y documentación del sitio, que pueda afectar al desempeño energético.
Análisis	- Análisis de datos energéticos a partir de la línea de base. - Indicadores de desempeño a nivel de proceso o flota. - Balance de energía detallado de acuerdo con las mediciones de los sub-meters. - Balance de materia en procesos que afecten notablemente al consumo energético. - Evaluación de opciones de diseño y operación para alcanzar las necesidades del sistema.
Identificación de Oportunidades	- 1 o más recorridos al sitio. - Identificar medidas específicas de corto, mediano y largo plazo, con ahorros energéticos conciliados al balance de energía. - Todas las medidas deben incluir los costos y los beneficios, incluidas las ganancias no energéticas. - Listado de oportunidades que sean factibles para la organización.
Evaluación de Oportunidades	- Ahorros calculados de las medidas conciliados con el balance de energía. - Costos de capital y medidas basadas en las reglas de oro. - No se requiere cotización de proveedores. - Análisis económicos incluyendo VAN, TIR y períodos de repago.

Tabla 2: Resumen detallado de auditoría nivel 2 (Fuente: Elaboración propia a partir de la Norma ISO 50002).

Nivel de Auditoría 3

Aplicación Típica	<ul style="list-style-type: none"> - Todo el sitio, proceso, sistema o flota. - Auditoría energética exhaustiva con mucha participación de la organización. - Solamente económica para organizaciones con alta facturación energética. - Aplicable a niveles de sistema (por ejemplo, aire comprimido).
Necesidad de la Organización	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación y evaluación de un rango específico de medidas, incluyendo sus costos, beneficios y ganancias no energéticas. - Los auditores no solo deben tener buen nivel técnico y experiencia, deben conocer bien los usos energéticos auditados. - Investigación de oportunidades más detallada. - Consideración de estrategias comerciales en la auditoría.
Recopilación de Datos	<ul style="list-style-type: none"> - Perfil de carga y operación del sitio, proceso o flota. - Datos de producción para establecer indicadores para usos significativos de energía. - Datos de sub-meters. - Datos de consumo energético de los procesos, sistemas y actividades clave. - Acceso libre a toda la información del sitio. - Los datos deben recopilarse durante un período más extenso.
Análisis	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de datos energéticos a partir de la línea de base energética. - Indicadores a nivel de planta, proceso, flota y para los usos significativos de energía. - Balance energético detallado conciliado con los datos de sub-meters, captando variaciones de performance horaria. - Balance de materia en procesos que afecten al consumo energético. - Evaluación de opciones de diseño y operación para alcanzar las necesidades del sistema. - Aplicar varios métodos de análisis para correlacionar el consumo energético con variables relevantes. - Recomendaciones para mejorar la precisión en los datos.
Identificación de Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> - 1 o más recorridas al sitio. - Identificar y cuantificar medidas específicas de corto, mediano y largo plazo, con ahorros energéticos conciliados al balance de energía. - Identificar oportunidades de mejora de performance donde es necesario mayor investigación o precisión en los datos. - Listado de oportunidades que sean factibles para la organización. - Otros análisis, técnicas o métodos experimentales para comprender el consumo energético.
Evaluación de Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorros calculados de las medidas conciliados con el balance de energía y las interacciones entre sistemas. - Costos de capital calculados con el nivel de precisión requerido por la compañía y medidas basadas en las reglas de oro. - Todas las medidas deben incluir sus costos, beneficios y ganancias no energéticas. - Análisis económicos incluyendo VAN, TIR y períodos de repago, para incluir en los procesos de CAPEX de la compañía.

Tabla 3: Resumen detallado de auditoría nivel 3 (Fuente: Elaboración propia a partir de la Norma ISO 50002).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SITIO EN ESTUDIO

La auditoría energética se realizará en las instalaciones de Cervecería Los Vascos S.A., que se encuentra ubicada en el Parque Industrial Buen Ayre (ver Ilustración 1). Esta microcervecería es relativamente joven, ya que comenzó su operación en julio de 2019. Con una capacidad nominal de producción de 19.500 litros mensuales, la fábrica comercializa sus productos en formato de lata de 473 cm³ y en barriles (kegs) de 50 litros. Esto le permite abastecer la demanda en bares, despachos cerveceros y otros locales comerciales.

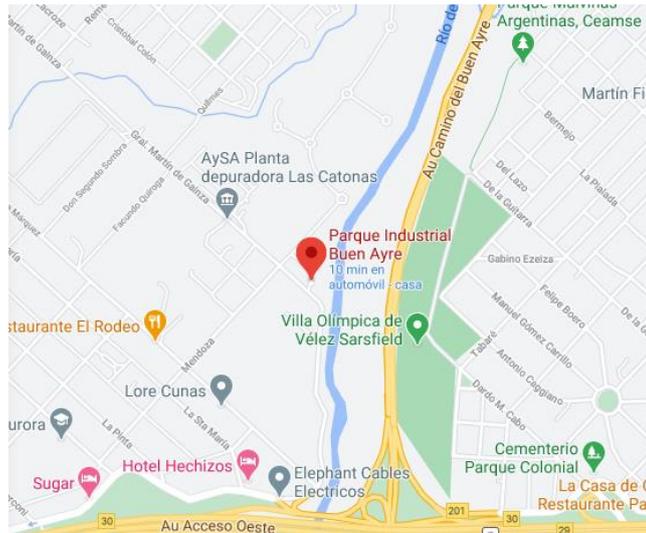


Ilustración 1: Ubicación de la planta (Fuente: Google Maps. Recuperado de <https://www.google.com/maps/place/Parque+Industrial+Buen+Ayre/@-34.6206771,-58.7246542,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x1a95f900330958e0!8m2!3d-34.6206782!4d-58.7246543>).

2.2. ALCANCE DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

Al momento de realizar el estudio la planta contaba con menos de un año de operación por lo cual no se dispone de mucha información. Por esta misma razón, no existe diagnóstico energético previo alguno.

Dadas las dimensiones del establecimiento y el contexto macroeconómico en el que se realiza, se optó por realizar una auditoría energética de nivel 1. Teniendo en cuenta los datos disponibles y en línea con los requerimientos de una auditoría de nivel 1, se definió el siguiente cronograma de trabajo:

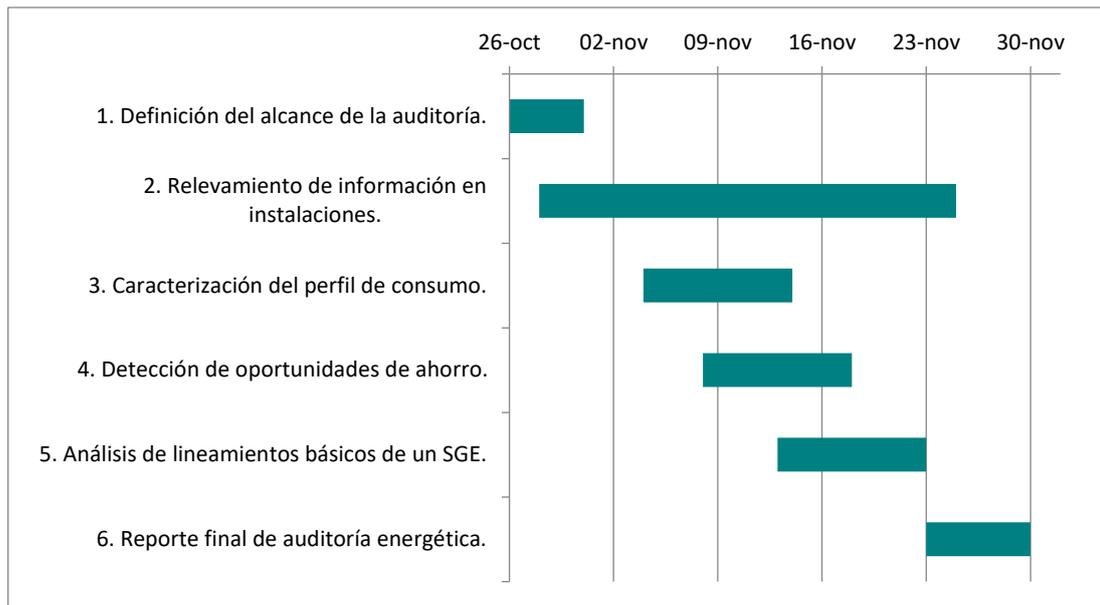


Gráfico 3: Cronograma de trabajo para la realización de la auditoría energética (Fuente: Elaboración propia).

Teniendo en cuenta el nivel de auditoría, para realizar la misma se dispuso de la siguiente información:

- Descripción del proceso productivo de la cerveza.
- Datos de facturación de energía eléctrica y GLP de la microcervecería.
- Datos de energía eléctrica medidos a partir del analizador de redes trifásicas.
- Datos de GLP medidos a partir de los tanques de GLP.
- Inventario de equipamiento eléctrico y sus horarios de uso.
- Inventario de equipos consumidores de vapor, los tiempos de calentamiento y las temperaturas de los procesos.
 - Datos de grados día de refrigeración.
 - Datos de producción de la microcervecería.

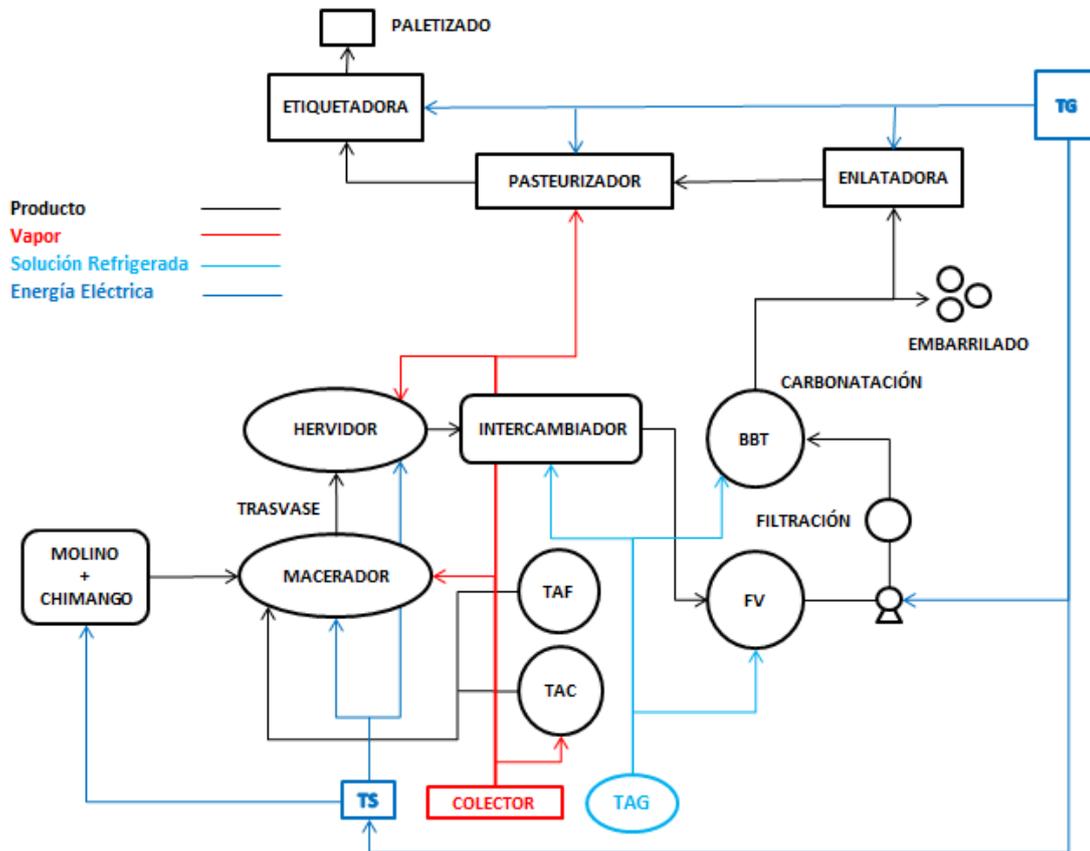
2.3. PROCESO PRODUCTIVO

El proceso de producción de la cerveza consiste a grandes rasgos de dos grandes etapas. En principio, una etapa que consiste en la elaboración del producto líquido, la cerveza. En segundo lugar, el proceso de envasado de cerveza. A su vez, la elaboración de cerveza abarca varios procesos, en los cuales se cuida y asegura la calidad del producto y el proceso en sí. Pero, en este trabajo se analiza el aspecto energético, por lo que se describirá el proceso sin entrar en detalle en estos cuidados. En líneas generales, el proceso se puede resumir en las siguientes etapas:

- 1) Cocimiento.
- 2) Fermentación y Maduración.
- 3) Filtración y Carbonatación.
- 4) Envasado.

Asimismo, en el lay-out de la planta cervecera pueden delimitarse 2 áreas productivas. En primer lugar, el bloque caliente donde ocurren todas las operaciones con alta demanda de

energía térmica, vinculadas a los procesos de cocimiento de la cerveza. En este sector, el principal portador térmico es el vapor saturado, por eso su denominación bloque “caliente”. Por otra parte, los procesos de fermentación, maduración, filtración, carbonatación y envasado se llevan a cabo en el bloque frío, donde es primordial mantener refrigerados los tanques, a través de la solución glicolada y el sistema de control de estos. De este modo, el consumo energético en este bloque está relacionado a la refrigeración.



Abreviaturas:

- TAF: Tanque de Agua Fría
- TAC: Tanque de Agua Caliente
- FV: Tanque Fermentador
- BBT: Tanque de Maduración
- TG: Tablero General
- TS: Tablero de Servicio
- TAG: Tanque de Agua Glicolada

Figura 3: Diagrama de proceso de la microcervecería. Primeramente, se describe esquemáticamente el flujo del producto por los diferentes equipos y procesos. Además, se esquematizan los flujos de vapor, de solución glicolada y de energía eléctrica (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

2.3.1. Cocimiento

Con el fin de obtener un mosto cervecero en óptimas condiciones para su fermentación, es necesario realizar un correcto proceso de cocción. Este consiste en las etapas descriptas a continuación.

2.3.1.1. Recepción de Materia Prima:

En el día de cocción, la primera operación a realizar en el bloque caliente es recibir la materia prima a utilizar, asegurándose que las cantidades y los tipos de maltas sean las adecuadas para la cerveza a elaborar.

2.3.1.2. Molienda:

Una vez recibida la materia prima, se procede a llenar la olla de maceración o “macerador” (ver Anexo 1) con agua obtenida del proceso de ósmosis inversa almacenada en los tanques de agua caliente (TAC) y de agua fría (TAF). El principal objetivo de la molienda es triturar los granos para aumentar la superficie de contacto entre el grano y el agua. Para ello, se utiliza un molino de rodillos y un tornillo sinfín para el transporte a la olla de maceración.

2.3.1.3. Maceración:

Es el proceso donde se mezcla la malta molida con el agua para iniciar las reacciones enzimáticas. Dichas reacciones tienen por objetivo transformar el almidón, presente en el endospermo de la malta, en azúcares fermentables y no fermentables por la levadura. Durante la maceración, se realizan escalones de temperatura que favorecen la actividad de diferentes enzimas según el perfil de cerveza a elaborar. El escalón de temperaturas va desde los 52-54°C, luego 64-66°C y finalmente 70-72°C. Para optimizar el intercambio de calor con las camisas de vapor y una correcta homogeneización del mosto, la olla de maceración dispone de un dispositivo de corte o agitador, usualmente llamado “mullidor”. A su vez, este es impulsado por un motor con variador de velocidad. Finalizando la maceración, se realiza una recirculación del mosto en la misma olla, a través de una bomba a un caudal mínimo regulado por un variador de velocidad, con el objetivo de asentar el lecho filtrante.

2.3.1.4. Filtración del Mosto y Traslado a Hervidor:

La finalidad de este proceso consiste en la separación física del mosto cervecero de la parte insoluble de la malta, el bagazo. En este proceso el macerador hace las veces de cuba filtro, ya que posee un falso fondo, que permite el paso del mosto reteniendo el grano. Este proceso se realiza en dos etapas. Primero, se envía el primer mosto extraído hacia el hervidor. Luego, cuando el nivel de mosto está a la altura del lecho filtrante, comienza el lavado del mosto con agua, proveniente del TAC, a una temperatura de entre 75 y 78 °C. El agua debe suministrarse también a un caudal mínimo que está regulado mediante una válvula manual. Este procedimiento se realiza procurando mantener el nivel del líquido en la olla igual a la altura del lecho filtrante y aumentando progresivamente la velocidad de la bomba. A su vez, cuando ya hay un volumen de 250 litros que cubre toda la camisa del fondo del hervidor, se inicia el proceso de precalentamiento del mosto hasta llevarlo a unos 90°C aproximadamente.

2.3.1.5. Ebullición del Mosto:

Este proceso tiene como fines principales la estabilización del mosto, la modificación y el desarrollo del sabor y la concentración del mosto. La concentración del mosto se realiza llevándolo a hervor (100°C) y, mediante la evaporación, se logra llevarlo al nivel de extracto requerido por la receta. Mientras que la estabilización del mosto y el desarrollo del sabor se da, en parte, gracias a la adición del lúpulo en diferentes momentos del hervor. Para el calentamiento se utilizan dos camisas de vapor: una de fondo y una lateral. Además, el sistema de control permite variar la potencia de calentamiento para poder mantener un proceso de ebullición estable. En el proceso de precalentamiento, también se suele utilizar una bomba de recirculación para aumentar la tasa de intercambio térmico.

2.3.1.6. Clarificación del Mosto:

En esta operación se utiliza el principio de Whirlpool (remolino) que se basa en que las partículas sólidas en suspensión, por su diferencia de densidad con el mosto, emigran hacia el centro y el fondo de la olla. El mosto es recirculado mediante una bomba actuada por un variador de velocidad que genera un movimiento tangencial al hervidor.

2.3.1.7. Enfriamiento y Oxigenación:

El mosto se encuentra cerca de los 100°C al finalizar el hervor, y la levadura necesita una temperatura menor a los 40°C para sobrevivir y desarrollarse. El mosto se suele enfriar a una temperatura de entre 17 y 20°C. Para esta operación se emplea un intercambiador de placas de dos etapas, una primera donde el mosto intercambia calor con agua a temperatura ambiente y otra donde intercambia calor con una solución de glicol a -3°C. A su vez, el circuito de enfriamiento y trasvase al tanque fermentador está impulsado por la misma bomba que se utilizó para el Whirlpool. Adicionalmente, el proceso mediante el cual se suministra oxígeno puro al mosto enfriado es la oxigenación. Esta actividad se realiza simultáneamente cuando se enfría y trasvasa el mosto, utilizando un caudalímetro.

2.3.2. Fermentación y Maduración

La fermentación cervecera puede definirse como el proceso anaeróbico mediante el cual la levadura convierte los azúcares del mosto en alcohol y dióxido de carbono (gaseoso). Este proceso es exotérmico, por lo que libera energía en forma de calor. Por eso, se hace necesario mantener refrigerados los tanques a cierta temperatura de entre 17 y 23°C. Se utiliza un sistema de refrigeración por chillers y una bomba que recircula el agua glicolada por todo el circuito y las camisas de los tanques, a una temperatura de -3°C. El ingreso de agua glicolada a la camisa de los tanques se regula mediante un PLC que controla las electroválvulas de cada tanque.

La primera etapa consiste en la fase de adaptación de la levadura, que son las primeras 24 horas desde la inoculación de la levadura. En este punto, lo que el cervecero busca es que sea lo más breve posible. Primero, para poder evitar la infección y proliferación de otros microorganismos. También para obtener mayor rendimiento productivo, es decir, fermentar la mayor cantidad de azúcares por unidad de volumen en el menor tiempo posible. Principalmente, la limpieza y desinfección del tanque es fundamental para ello. Adicionalmente, las condiciones del proceso, como son la temperatura, el tiempo, la presión y la geometría del tanque influyen en la eficiencia de la fermentación.

Durante la primera fase, hay un desprendimiento gaseoso intenso y una disminución de la densidad del mosto debido a la presencia del alcohol. La temperatura y el tiempo de fermentación va a depender del tipo de levadura a utilizar. En la microcervecería analizada se producen cervezas Ale, de fermentación alta. La temperatura del proceso se define en 20°C, tomando entre 4 y 7 días de fermentación primaria. Durante esta etapa, además de la temperatura, se lleva registro y control de la densidad y el pH que indicaran el estado de salud del mosto.

En la segunda etapa de la fermentación, la levadura se encuentra mucho menos activa debido al enfriamiento del mosto a una temperatura de 1°C. Este proceso también es llamado “maduración” o guarda en frío, ya que el objetivo es lograr la maduración organoléptica de la

cerveza, es decir, afinar el sabor y el aroma de esta. Adicionalmente, llevar a frío la cerveza favorece la formación de micenas coloidales que luego floculan clarificando el mosto. También, el estar a menor temperatura facilita la disolución del CO₂ en el líquido.

2.3.3. Filtración y Carbonatación

2.3.3.1. Filtración:

La filtración tiene como objetivo eliminar todo tipo de partículas de naturaleza coloidal (precipitados formados por proteínas) y de naturaleza biológica (microorganismos y células de levaduras). Adicionalmente, es el proceso que le da brillantez a la cerveza. Este proceso se realiza mediante un filtro de placas filtrantes fabricadas con materiales fibrosos y celulosas. Primero, se sanitiza el filtro con agua a 80°C durante 10 minutos. Luego de enfriar el filtro a temperatura ambiente, se procede a filtrar la cerveza manteniendo una diferencial de presiones entre el tanque de origen y el tanque de destino, suministrando CO₂ gaseoso al tanque de origen.

2.3.3.2. Carbonatación:

Este es un proceso fundamental para terminar de darle el perfil aromático, de sabor y de textura requerido a la cerveza. La solubilidad del CO₂ en la cerveza se rige por la ley de disolución de gases en líquidos. Esto se debe a que la disolución de CO₂ en cerveza será mayor a menor temperatura y a mayor presión. Este proceso es lo último que se hace antes de envasar el producto, donde se enfría la cerveza a 0°C. Luego, se utiliza una manguera de recirculación con una piedra carbonatadora que permite difundir en burbujas muy pequeñas del gas en el líquido. A su vez, el caudal suministrado por la piedra es regulado por un rotámetro a 3 litros por minuto y se procura que la atmosfera del tanque esté a un mínimo de 0,8 bar de presión de CO₂.

2.3.4. Envasado de Cerveza

El principal objetivo de esta etapa es fraccionar el producto en volúmenes comerciales, asegurando la calidad fisicoquímica, microbiológica y organoléptica de la cerveza. Pueden emplearse distintos envases, ya sean estos retornables o no retornables. En la microcervecería auditada, se dispone de barriles de 50 litros retornables y de latas de aluminio en el formato comercial de 473 cm³.

2.3.4.1. Embarrilado de Cerveza:

El principal destino de los barriles de cerveza son los bares. Una vez consumida la cerveza, se envían de regreso a la fábrica. Luego, se emplea una máquina de lavado de barriles que realiza un proceso de varias etapas. Este consiste en el vaciado del barril, la limpieza de este (con solución alcalina a 70°C), el enjuague, la desinfección y finalmente el barrido y presionado con CO₂. En este estado, el barril queda disponible para envasar cerveza, cuyo proceso se realiza mediante un colector, manteniendo un nivel de contra presión de CO₂ constante por la parte superior del tanque. Estos barriles son luego almacenados en una cámara frigorífica seteada a una temperatura de 5°C para su posterior despacho.

2.3.4.2. Enlatado de Cerveza:

El enlatado tiene como objetivo llenar las latas de aluminio con producto, asegurando un mínimo ingreso de oxígeno, el nivel de llenado legal y la hermeticidad adecuada. En la llenadora de latas, se realiza un proceso que despaletiza las latas y luego las desinfecta. Luego, se realiza

el llenado y sellado de las latas. El proceso finaliza con un lavado externo con agua y su posterior secado con aire.

2.3.4.3. Pasteurización de Latas:

Este proceso tiene como objetivo evitar la proliferación de microorganismos en la cerveza, mediante un proceso térmico. Comienza con el traslado manual de las latas a través de un pasteurizador de túnel. Este posee una cinta transportadora accionada por un motor con variador de frecuencia. Durante el proceso de pasteurización, las latas son calentadas, en la zona caliente, mediante una ducha con agua a 62°C. El agua es impulsada por una bomba y las duchas son reguladas mediante válvulas manuales. A su vez, el ingreso de vapor para el calentamiento se realiza manualmente. En la segunda etapa del pasteurizador, las latas son enfriadas mediante agua a temperatura ambiente.

2.3.4.4. Etiquetado y Paletizado:

El etiquetado se realiza con una máquina que, mediante una cinta transportador y un pistón neumático, permite adherir la etiqueta al cuerpo de la lata e imprimir su correspondiente fecha de vencimiento y número de lote. Finalmente, las latas se guardan manualmente en cajas de cartón, que son paletizadas para su despacho.

Para observar con mayor detalle de que se trata la planta en estudio, se adjuntan una serie de imágenes en el [Anexo 1 – Equipos de Proceso](#).

2.4. FACTURACIÓN DE ENERGÍA

Toda la información relevada sobre la facturación energética se encuentra en el [Anexo 2 – Facturación Energética](#).

2.4.1. Energía Eléctrica

La planta en estudio cuenta con suministro eléctrico trifásico de la distribuidora Edenor y la tarifa aplicada es T2 en baja tensión. En el trabajo realizado, se relevarán los datos de facturación de energía eléctrica, donde se analizarán aspectos como la carga tarifaria, la óptima potencia a contratar y la compensación del $\cos(\varphi)$.

Si tenemos en cuenta que en verano la temperatura ambiente es mayor y la cerveza toma su pico de demanda en esta época, podría intuirse que el consumo eléctrico va a tener su pico en esos meses. Por otra parte, para estimar la potencia óptima a contratar, mediante un proceso iterativo de diferentes valores de kW, se determina el que da como resultado un mayor ahorro en el período analizado. Adicionalmente, se dimensionó el capacitor requerido para la compensación del $\cos(\varphi)$, realizando su análisis económico.

Tarifa 2 (Medianas Demandas)		Valor
Concepto	Unidad	
<ul style="list-style-type: none"> • Cargo Fijo • Cargo por Potencia Contratada • Cargo por Potencia Adquirida • Cargo variable por energía 	\$/mes	1.069,63
	\$/kW-mes	497,15
	\$/kW-mes	65,20
	\$/kWh	2,403

Tarifa 2 (Servicio de Peaje)		Valor
Concepto	Unidad	
<ul style="list-style-type: none"> • Cargo Fijo • Cargo por Potencia Contratada • Cargo por Potencia Adquirida • Cargo variable por energía 	\$/mes	1.069,63
	\$/kW-mes	497,146
	\$/kW-mes	8,157
	\$/kWh	0,263

Tabla 4: Cuadro Tarifario de Edenor Tarifa T2 vigente a partir del 1/05/2019 hasta el día de la fecha (Fuente: <https://www.edenor.com/sites/default/files/2020-07/CuadroTarifario.pdf>).

2.4.2. Gas Licuado de Petróleo

En la zona donde está ubicada la fábrica, no existe red de gas domiciliaria o industrial. Es por esto por lo que la planta cuenta con suministro de combustible, mediante dos tanques de GLP. El proveedor de GLP es YPF y la carga de los tanques se realiza por pedido. Hasta el momento no hay un registro sistémico y periódico de la facturación. Pero, se tiene acceso a la facturación realizada en la carga de un tanque.

FACTURACIÓN GLP			
Cantidad	U.M.	Descripción	P. Unitario
3.766,31	KG	GLP PROPANO	51,1570
Concepto		Importe	
Subtotal		192.673,13	
Iva 10,50 %		20.230,68	
Perc. Iva Gral (RG2408)		0,00	
Perc. Iva RG 820 1,75 %		3.371,78	
Perc. IVA Grano (RG2459)		0,00	
Total		\$ 216.275,59	

Tabla 5: Detalle de la facturación de GLP elaborado a partir de una factura del día 31/08/2020.

2.5. MEDICIÓN DE ENERGÍA

2.5.1. Energía Eléctrica

La planta posee un tablero general que abastece a otros 3 tableros seccionales y también consumos en la zona de producción. En primer lugar, un tablero que abastece a los servicios auxiliares de la fábrica (tablero de servicios): compresor, caldera, chillers, equipo de ósmosis inversa, bombas, etc. En segundo lugar, un tablero que abastece a los servicios de iluminación de la microcervecería y al laboratorio (tablero seccional del laboratorio). Por último, la fábrica cuenta con otro tablero que abastece a los servicios eléctricos del comedor, baños y el depósito aldaño a la fábrica (tablero seccional del depósito).

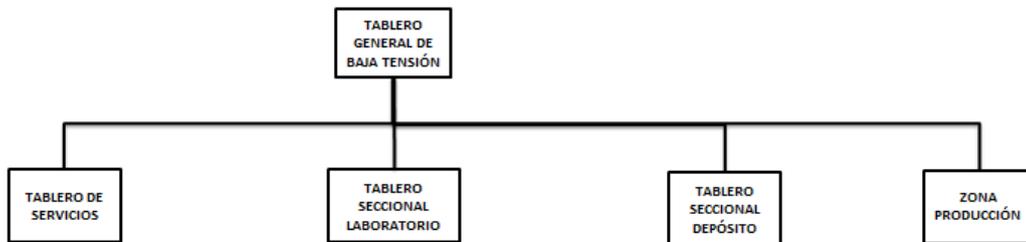


Figura 4: Esquema unifilar básico de la fábrica (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en planta).

Para la medición y el monitoreo de energía eléctrica, la planta cuenta con un analizador de redes Circutor CVM-NRG96. Este dispositivo ofrece una serie de posibilidades de empleo, las cuales pueden seleccionarse mediante el menú de configuración del equipo. Con este analizador es posible medir, calcular y visualizar los principales parámetros eléctricos, pudiendo analizar simultáneamente valores instantáneos y acumulados.

Entre los parámetros instantáneos, se pueden leer valores de tensión de fase, tensión de línea, corriente de fase y de neutro, frecuencia, $\cos(\varphi)$, potencia activa, reactiva capacitiva e inductiva y potencia aparente. Además, el analizador registra el valor de máxima demanda (kW) y los valores acumulados de energía activa, reactiva (capacitiva e inductiva) y aparente, en consumo y en generación. Una particularidad que tiene este analizador es que permite medir valores instantáneos de distorsión armónica en corriente y en tensión (hasta el 15° armónico).



Ilustración 2: Analizador de redes Circutor CVM-NRG96 (Fuente: Ilustración tomada del Manual de Usuario).

Mediante este analizador se realizaron varias mediciones de consumo eléctrico en kWh. Esto sirve, por ejemplo, para conocer cuál es el promedio de consumo mensual y compararlo contra la facturación. A su vez, se lo utilizó para conocer cuál es el consumo diario en un día de producción y en un día de fin de semana. De esta forma se puede conocer el consumo energético de los equipos que siguen en funcionamiento durante días no operativos. Un ejemplo de ello son los sistemas de refrigeración. Las mediciones mencionadas anteriormente se pueden encontrar adjuntas en el Anexo 3 – Mediciones de Energía Eléctrica.

2.5.2. Gas Licuado de Petróleo

La fábrica cuenta con dos tanques de GLP. Estos poseen una capacidad de 3.160kg de propano y 3.630kg de butano aproximadamente. La medición del gas consumido por la caldera se realizó mediante la observación de los medidores de cada tanque antes y después de los días de uso.

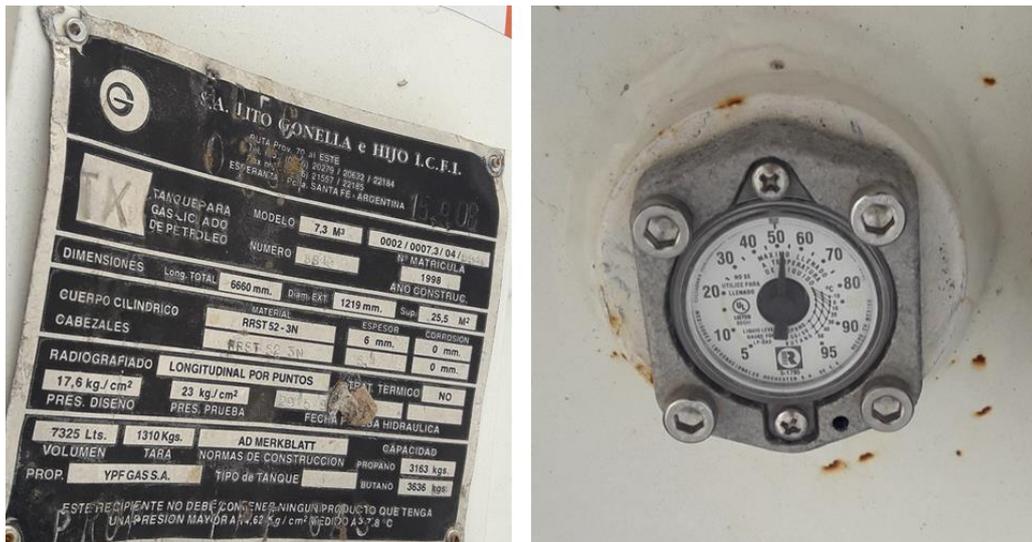


Imagen 1: Chapa característica (izquierda) y medidor de nivel (derecha) de uno de los tanques de GLP (Fuente: Imágenes tomadas de las instalaciones relevadas).

2.6. ESTIMACIÓN DE CONSUMOS

2.6.1. Consumos Eléctricos

Con el fin de identificar los usos significativos de la energía eléctrica, se propone relevar el inventario de equipos, su potencia y los horarios de uso de cada uno. Teniendo en cuenta que muchos de estos equipos no operan de forma continua, por ejemplo, para los bancos de frío (chillers) se toman los tiempos de arranque y de parada del motor. El compresor de aire, por ejemplo, posee registro de las horas de uso facilitando el análisis. Para esto, se realizó una planilla de recolección de datos (ver Tabla 6). La planilla utiliza la siguiente ecuación para calcular el consumo eléctrico anual para cada equipo:

$$E_{anual} = P_{nominal} \times t \quad (1),$$

Donde E_{anual} es la energía se mide en kWh, $P_{nominal}$ es la potencia nominal en kW, y t es el tiempo de uso en horas. A su vez, el tiempo de uso se determina mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{Horas}{Día} \times \frac{Días}{Semana} \times \frac{Semanas}{Año} \quad (2),$$

Algunos equipos no operan todos los días de la semana, por eso se toma cuantos días a la semana se utiliza y cuantas horas esos días. Luego, el resultado del total de los consumos calculados se compara con los datos medidos para analizar la diferencia. Para comprender los cálculos descriptos se puede encontrar mayor detalle en el [Anexo 4 – Relevamiento de Consumo Eléctrico](#).

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO								
Tipo de Consumo	Equipo	Modelo	Cantidad	Potencia Nominal	Tiempo De Uso	Días De Uso	Consumo Anual	Observaciones
				W	horas/día	días/semana	kWh	

Tabla 6: Planilla de recolección de datos del consumo eléctrico de los equipos (Fuente: Elaboración propia).

2.6.2. Consumos de Vapor

Los tanques de GLP, mediante una estación reductora, abastecen de gas solamente al generador de vapor. La caldera es del tipo humotubular de 3 pasos semi-húmeda. La misma posee una capacidad nominal de 600kg/hora y provee a todos los equipos que requieren energía térmica por vapor. El vapor se genera a una presión de 8bar y el sistema de distribución, mediante una válvula reductora de presión, disminuye dicha presión a 3bar. Luego, la línea alimenta a un colector donde se distribuye a los diferentes consumos. La presión de 3 bar en distribución se debe a que las camisas de los equipos soportan hasta 4 bar de presión. Los equipos consumidores de vapor son el tanque de agua caliente (TAC), el bloque de cocción, donde se ubican las ollas de maceración y de hervor, y, por último, el pasteurizador.

GENERADOR DE VAPOR MODELO LNR 40			
Característica		Valor	Unidad
Capacidad		600	kgVap/h
		415.800	kcal/h
		484	kW
Superficie de Calefacción		15	m ²
Dimensiones	Ancho	1.850	mm
	Largo	3.100	mm
	Alto	1.900	mm
Peso de la Caldera		2.200	kg
Capacidad Calorífica del Quemador		478.170	kcal/h
Rendimiento Nominal		87	%
Presión de Trabajo		8	bar
Presión de Diseño		9	bar
Temperatura de Gases de Escape		234,6	°C
Volumen Aproximado Caldera		10,9	m ³

Tabla 7: Especificaciones técnicas del modelo de la caldera de vapor (Fuente: <http://calderasargentinas.com.ar/modelos-y-especificaciones/>).

En este trabajo, se propone estimar los consumos de vapor para conocer los equipos de mayor demanda, que serían los primeros a mejorar. En los procesos involucrados el vapor intercambia calor con cerveza o agua, de forma directa o indirecta. El método para calcular estos consumos es mediante el balance de calor en cada equipo. La ecuación utilizada para calcular la carga térmica en procesos donde no hay cambio de fase es:

$$\dot{Q} = \frac{m \times Cp \times \Delta T}{t} \quad (3)$$

Donde \dot{Q} es el flujo de calor requerido en kJ/h, m es la masa en kg, Cp es el calor específico del fluido en kJ/kg.°C, ΔT es el diferencial de temperatura en °C y t es el tiempo en horas.

Para aplicaciones donde hay cambio de fase, el flujo de calor requerido se calcula:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \Delta h \quad (4)$$

Donde \dot{Q} es el flujo de calor requerido en kJ/h, \dot{m} es el caudal másico en kg/h y Δh es la diferencia de entalpía entre la entrada y la salida en kJ/kg.

Luego, el caudal de vapor para calentar un fluido se puede calcular teniendo en cuenta el siguiente balance de energía:

$$\dot{Q}_{vap} = \dot{Q}_{fluido} + \dot{Q}_{pérdidas} \quad (5)$$

Si se tiene en cuenta que las camisas de los equipos están perfectamente aisladas, se puede suponer que las pérdidas por conducción y convección en las paredes de los equipos son despreciables. Se deduce entonces:

$$\dot{Q}_{vap} = \dot{Q}_{fluido} \quad (6)$$

Mientras que el flujo de calor de vapor \dot{Q}_{vap} se puede calcular como:

$$\dot{Q}_{vap} = \dot{m}_{vap} \times h_{real} \quad (7)$$

Donde \dot{m}_{vap} es el caudal másico de vapor en kg/h y h_{real} es la entalpía de evaporación real en kJ/kg, que se calcula teniendo en cuenta el título de vapor χ y la entalpía de evaporación del agua saturada h_{fg} tomada de tablas:

$$h_{real} = \chi \times h_{fg} \quad (8)$$

Al desconocer el grado de sequedad del vapor, para el cálculo se toma un título de vapor de 0,9. Finalmente, tomando la igualdad (6) y despejando \dot{m}_{vap} queda:

$$\dot{m}_{vap} = \frac{m_{fluido} \times C_{fluido} \times \Delta T}{\chi \times h_{fg} \times t} \quad (9)$$

Donde m_{fluido} es la masa del fluido en kg, C_{fluido} es el calor específico del fluido en kJ/kg.°C, ΔT es el diferencial de temperatura del fluido y t es el tiempo de calentamiento medido en horas.

Para los casos donde la inyección de vapor es indirecta, en vez de utilizar la entalpía de evaporación h_{fg} se utilizó en valor de la entalpía total de vapor h_g . La ecuación (9) se puede encontrar también en el *Seminario de Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor* (Olcese, 2018). Además, para calcular el consumo total se tomó un factor de simultaneidad considerando que los equipos no operan al mismo tiempo. Estos datos se recopilaron también en una planilla y, en base a ello, se estimó el consumo total de vapor (ver [Anexo 5](#)).

2.7. EFICIENCIA DE LA CALDERA

El procedimiento contemplado para calcular la eficiencia de la caldera es el descrito por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en la *Guía técnica sobre inspección periódica de eficiencia energética para calderas* (2007). Hay que considerar que existen dos

fluidos que intercambian calor. Por un lado, el GLP que ingresa en la cámara de combustión reacciona liberando calor y finalmente sale a través de los tubos hacia la chimenea en forma de humos. En la otra vena transita el flujo de agua que a través de la superficie de calefacción capta el calor, elevando su temperatura. La eficiencia o el rendimiento energético de la caldera se define como la relación entre el calor útil que captó el agua respecto al calor que poseía el combustible utilizado.

Según IDAE, existen dos formas de efectuar el cálculo:

- El método directo que se obtiene por la medición del contenido calórico del agua antes y después de su ingreso a la caldera, y, por otro lado, la determinación de energía del combustible, producto de la cantidad utilizada por su poder calorífico. La dificultad de aplicación de este método reside en la dificultad de medición del caudal de agua consumido por la caldera. En caso de que la caldera no posea caudalímetro, la forma no destructiva más precisa de hacerlo es con equipos de ultrasonido, que en muchos casos requiere desmontar el aislamiento térmico.
- El método indirecto que se basa en deducir todos los flujos de calor que no son captados por el agua, es decir, considera las pérdidas energéticas presentes en el generador de vapor. Este procedimiento consiste en realizar el balance energético de la energía producida por el combustible. Para ello, se deben calcular las pérdidas por los diferentes modos de transmisión de calor, a través del cuerpo de la caldera: conducción, convección y radiación. También, se tienen en cuenta las pérdidas de calor presentes en los humos que se van por la chimenea y las pérdidas debido a la combustión incompleta de las partículas de combustible. Este método tiene su aplicación práctica en calderas que no cuentan con calorímetros o caudalímetros.

Cabe aclarar que, para cualquiera de estos dos métodos, el cálculo de la eficiencia energética está referido al Poder Calorífico Inferior (PCI) del combustible. Ambos métodos son adecuados para el cálculo de eficiencia del generador de vapor, y se opta por uno o por otro según la disponibilidad de información. En este trabajo se calcularán ambos, con el fin de mostrar sus diferencias.

2.7.1. Método Directo

Este procedimiento requiere de la medición de caudal que circula por la caldera, la temperatura de ingreso de agua y la temperatura de salida de agua. En este caso, se tomará la temperatura de salida del vapor saturado a la presión de trabajo de la línea de vapor. Por lo tanto, adaptando el cálculo al caso en estudio, la eficiencia energética va a estar definida por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{vap} \times (h_{vapor} - h_{agua})}{\dot{m}_{comb} \times PCI_{comb}} \times 100\% \quad (10)$$

Donde \dot{m}_{vap} es el caudal másico de vapor en kg/h, h_{vapor} es la entalpía de vapor a la salida de la caldera teniendo en cuenta la presión de línea en kJ/kg, h_{agua} es la entalpía del agua de alimentación de caldera en kJ/kg, \dot{m}_{comb} es el caudal másico de combustible (en este caso GLP) en kg/h y PCI_{comb} es el poder calorífico inferior del combustible.

El valor del caudal másico de vapor (m_{vap}) es el calculado mediante la ecuación (8). Luego, los valores de entalpía del agua de alimentación (h_{agua}) y el vapor de salida (h_{vapor}) son tomados de las tablas de vapor del libro *Termodinámica 7° Edición* de Cengel y Boles (2012). Adicionalmente, Cengel también provee el dato del poder calorífico inferior del propano (PCI_{comb}). Finalmente, cómo se aclaró anteriormente, el caudal másico del combustible (m_{comb}) es el calculado mediante la observación del medidor de nivel de los tanques de GLP.

$$m_{comb} = \frac{\%GLP \times C_T}{t} \quad (11)$$

Donde $\%GLP$ es el porcentaje de GLP calculado mediante la observación de los medidores de nivel de los tanques antes y después de un día operativo. Para el caso, se toma el promedio de lo observado en los dos tanques. C_T es la capacidad total de propano de ambos tanques de GLP en kg. Y t es el tiempo en el cuál se consume el combustible en horas.

El valor de C_T es la suma de las capacidades de propano que detalla la chapa característica de cada tanque, que totaliza un valor de 6.315kg de propano. Mientras que el valor del tiempo t , es el estimado en base a las horas que actúa el quemador.

2.7.2. Método Indirecto

Para calcular el rendimiento de la caldera con este método, hay que considerar las pérdidas en caldera y en los gases de combustión. Las pérdidas en el cuerpo de la caldera vienen dadas por las pérdidas por conducción, convección y radiación. Mientras que las pérdidas en los gases de combustión vienen definidas por las pérdidas en los humos y en los gases inquemados.

2.7.2.1. Pérdidas por Conducción, Convección y Radiación:

Las pérdidas por conducción en la caldera se dan en los soportes de esta, por lo que se suelen desestimar, ya que no inciden significativamente en el cálculo. Las pérdidas por convección y radiación ocurren en toda la envolvente de la caldera. Estas dependen de varios factores como la temperatura del agua o vapor en la caldera, la temperatura en la superficie del cuerpo de la caldera, la temperatura en el ambiente donde está ubicada la caldera y las características de espesor, superficie y conductividad térmica del aislante.

En las superficies de la caldera, las pérdidas por convección correspondientes se pueden calcular mediante la siguiente ecuación:

$$P_{conv} = A \times h \times (T_{sup} - T_{amb}) \quad (12)$$

Donde P_{conv} son las pérdidas por convección en kcal/h, A es el área de la superficie en m^2 , h es el coeficiente de convección en la superficie en kcal/h.K.m², T_{sup} es la temperatura de la superficie en K y T_{amb} es la temperatura ambiente en K.

A su vez, el coeficiente de convección se puede calcular con esta ecuación:

$$h = CC \times (T_{sup} - T_{amb})^{1/4} \quad (13)$$

Donde CC es un coeficiente de convección que está vinculado a la geometría de la superficie en $\text{kcal/h.K}^{5/4}.\text{m}^2$. Este valor es de 1,992 para la envuelta cilíndrica y 1,66 para las superficies delantera y trasera.

Por otra parte, para conocer las pérdidas por radiación es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_{sup}^4 - T_{amb}^4) \quad (14)$$

Donde P_{rad} son las pérdidas por radiación en kcal/h , ε es el factor de emisividad (se toma un valor de 0,95) y σ es la constante de Stefan-Boltzmann (se toma un valor de $4,88 \times 10^{-8} \frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^2.\text{K}^4}$).

La suma de las pérdidas por convección y radiación se puede expresar en kW , teniendo en cuenta que $1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 4,184 \frac{\text{kJ}}{3600\text{s}}$. Asimismo, es posible calcular la potencia térmica de la caldera expresada en kW con valores ya conocidos como el caudal másico de vapor y la entalpía de vapor:

$$P_{térmica} = \frac{m_{vap} \times h_g}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \quad (15)$$

Luego, las pérdidas por convección y radiación pueden expresarse en términos relativos:

$$P_{conv y rad}(\%) = \frac{P_{conv} + P_{rad} (\text{kW})}{P_{térmica} (\text{kW})} \quad (16)$$

2.7.2.2. Pérdidas por Humos:

Estas pérdidas dependen del contenido energético no aprovechable de los gases de combustión. Los factores fundamentales para conocer son la temperatura de los gases de escape (o humos), el calor específico de los mismos, el exceso de aire utilizado en la combustión que se evidencia en el porcentaje de CO_2 de los humos y la temperatura del aire. La ecuación para conocer estas pérdidas es la fórmula de Siegert (Arjona, 2019):

$$P_{humos}(\%) = (T_{gases} - T_{aire}) \times \left(\frac{A2}{21 - \%O_2} + B \right) \quad (17)$$

Donde T_{gases} es la temperatura de los gases de escape en $^{\circ}\text{C}$, T_{aire} es la temperatura ambiente del aire, $A2$ y B son dos factores específicos del combustible que están tabulados y $\%O_2$ es el porcentaje de oxígeno libre en la corriente de salida de la chimenea.

2.7.2.3. Pérdidas por Inquemados:

La teoría de los procesos de combustión (Cengel, 2012) establece que la combustión es completa cuando todo el carbono se transformó en dióxido de carbono (CO_2). En la práctica, debido a la presencia insuficiente de oxígeno, a un mezclado ineficiente en la cámara de combustión o la disociación a temperaturas elevadas, los procesos de combustión son incompletos. Asimismo, los productos de la combustión incompleta pueden contener combustible o componentes no quemados, como C , H_2 , CO , u OH . A fines prácticos, las pérdidas por combustibles inquemados se pueden calcular teniendo en cuenta la presencia de monóxido

de carbono (CO) en el escape de los gases de combustión. Este valor suele encontrarse por debajo del 0,5% de la potencia útil de la caldera. Para calcularlo se toma en cuenta la siguiente ecuación (ver Arjona, 2019):

$$P_{inquemados}(\%) = \frac{21}{21 - \%O_2} \times \left(\frac{CO}{3100} + \frac{CH}{1000} + \frac{\%OP}{65} \right) \quad (18)$$

Donde CO es la concentración de monóxido de carbono en ppm, CH es la concentración de hidrocarburos inquemados en ppm y $\%OP$ es la opacidad en humos en %.

Para el análisis de este caso, se desestiman la concentración de hidrocarburos y la opacidad de los humos, por lo cual queda:

$$P_{inquemados}(\%) = \frac{21}{21 - \%O_2} \times \frac{CO}{3100} \quad (19)$$

2.7.2.4. Eficiencia por Método Indirecto:

Finalmente, con las pérdidas ya calculadas podemos estimar la eficiencia o rendimiento de la caldera por el método indirecto. El rendimiento energético de la caldera queda determinado por la siguiente ecuación:

$$\eta = 100 - P_{conv y rad} - P_{humos} - P_{inquemados} \quad (20)$$

Donde η es la eficiencia porcentual de la caldera, $P_{conv y rad}$, P_{humos} y $P_{inquemados}$ las pérdidas energéticas en valores porcentuales.

A partir de la auditoría en planta, se relevó la información del analizador de gases testo 310. Este dispositivo se utilizó luego de poner en marcha la caldera, obteniendo así los datos necesarios para realizar el cálculo por método indirecto. Posteriormente, se compararán los resultados del cálculo con los que entregó este dispositivo.

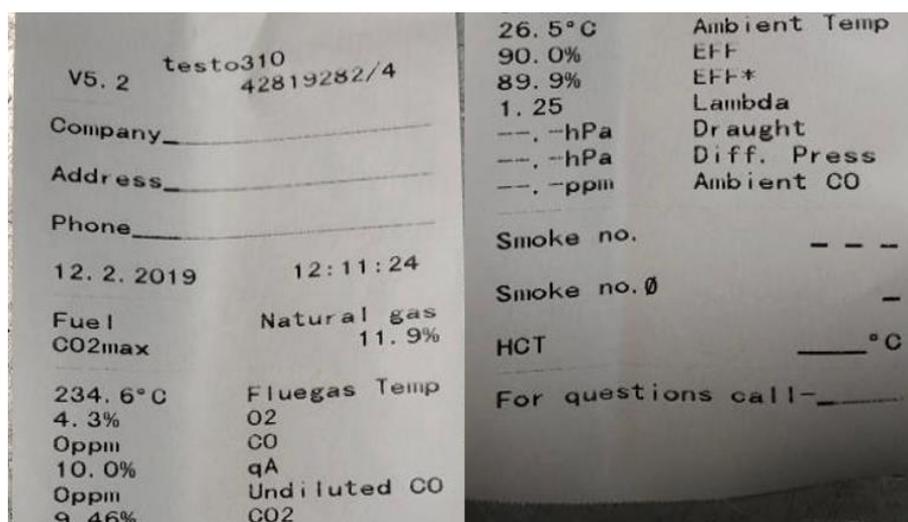


Imagen 2: Tique impreso por el dispositivo Testo 310. En él se muestran la información utilizada para realizar el cálculo manual por método indirecto. El manual se puede obtener en el siguiente link: <https://static-int.testo.com/media/4f/05/d4821fe99678/testo-310-Manual-de-instrucciones.pdf>.

Todos los cálculos realizados vinculados al sistema de generación y consumo de vapor están incluidos en el [Anexo 5 – Relevamiento del Sistema de Vapor](#).

2.8. LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA

Como se describió anteriormente en este trabajo, la línea de base energética sirve para poder estimar el consumo esperado de la energía. A su vez, esta sirve como referencia al momento de implementar un SGE y poder observar avances o retrocesos en el desempeño energético. Como línea de base energética se suele tomar la recta resultante de la regresión lineal de la variable dependiente, el consumo energético, y otra variable independiente. Esta recta se puede determinar, realizando la regresión lineal como se describe en algunos libros de estadística (Canavos, 1988).

Para establecer la línea base, se tomaron los datos del consumo eléctrico mensual en kWh y los datos de producción mensual de cerveza en litros. Luego, se calculó la ecuación de la recta obtenida a partir del diagrama de dispersión. Este procedimiento también se realizó, tomando los datos del consumo eléctrico y los grados día de refrigeración tomando como temperatura de referencia 1°C. Se tomó esta temperatura ya que es la temperatura a la cual maduran las cervezas en los tanques. Se utilizó como base de datos para los grados días de refrigeración obtenidos de la página desarrollada por Martin Bromley: <https://www.degreedays.net/>. Para el caso, se tomaron los datos proveídos por la estación meteorológica de Aeroparque (Buenos Aires, Argentina). Mayor detalle de los datos utilizados para el cálculo puede encontrarse en el [Anexo 6 – Datos de Producción y Grados Día de Refrigeración](#).

3. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de la información relevada y los cálculos realizados. Primero, se muestra los resultados del análisis realizado a partir de los datos de energía eléctrica:

- El análisis tarifario.
- La potencia óptima para contratar.
- El cálculo de compensación de $\cos(\varphi)$ y el correspondiente dimensionamiento del banco de capacitores.
 - La matriz de potencia eléctrica instalada.
 - La matriz del consumo eléctrico.
 - La regresión lineal del consumo eléctrico y otras variables independientes como la producción de cerveza y los grados día de refrigeración.

Luego, luego se muestran los resultados del análisis de energía térmica, que en este caso es en forma de vapor. En esa línea se muestran la siguiente información:

- El análisis tarifario.
- Los consumos de vapor confeccionadas a partir de la metodología descripta.
- Los resultados de la eficiencia de la caldera por los métodos directo e indirecto.

Finalmente, se expone el diagrama de Pareto uniendo la información relevada para representar los usos significativos de la energía en la microcervecería.

3.1. ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1.1. Análisis Tarifario

Se tienen datos del consumo de energía activa desde junio de 2020 hasta enero de 2021, ya que la facturación por tarifa T2 comenzó a realizarse en marzo. Adicionalmente, las lecturas de consumo en los meses de abril y mayo no fueron realizadas debido al Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (Ministerio de Salud, 2020). En el [Anexo 2](#), se encuentran los cálculos realizados de contratación de potencia y corrección de $\cos(\phi)$, y toda la información mostrada en este apartado.

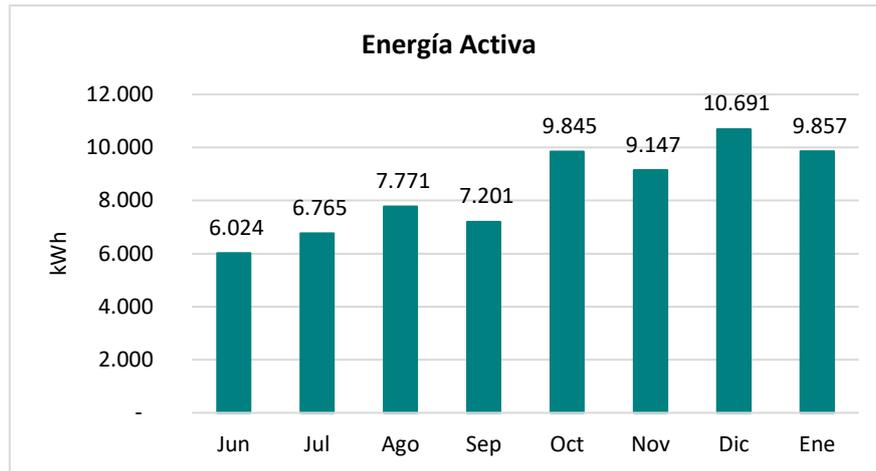


Gráfico 4: Gráfico de barras que muestra los consumos de energía activa expresado en kWh desde junio de 2020 hasta enero de 2021. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en planta)

En base a los datos de facturación relevados se pudo confeccionar un gráfico para identificar cual es el peso de cada concepto en la facturación eléctrica. Se puede observar que los cargos por potencia, los cargos por energía y los cargos impositivos son los de mayor participación en la factura. La carga impositiva representa un importe considerable, siendo este el 26%.

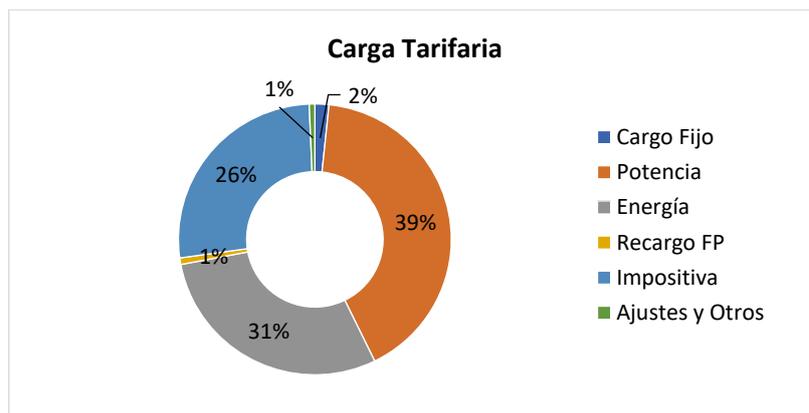


Gráfico 5: Diagrama de torta que describe la participación relativa de cargos en la facturación eléctrica. Se puede observar que los cargos por potencia, por energía y por impuestos son los de mayor porcentaje (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en la auditoría).

3.1.2. Reconstrucción de Potencia

A continuación, se muestran los datos de potencia contratada y potencia adquirida relevados en planta. Donde se puede observar que, entre los meses de junio de 2020 a enero de 2021, la potencia contratada fue de 49kW siendo esta mucho mayor a la potencia adquirida en cada mes.

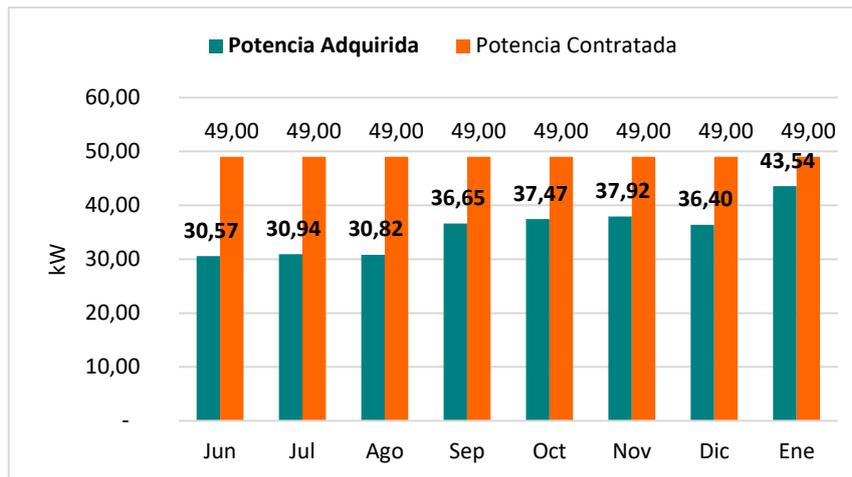


Gráfico 6: Gráfico de barras que describe la potencia contratada y la potencia adquirida entre los meses de junio de 2020 y enero 2021. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en planta).

Se pudo detectar una oportunidad de ahorro en la recontractación de potencia. Para el período analizado, se iteraron diferentes valores de potencia, para analizar cuál genera el mayor ahorro económico. Se obtuvo que la óptima potencia a contratar sea 31kW, generando un ahorro del 11% en el período analizado. Pero, considerando que el período analizado es menor a un año, se recomienda esperar a tener registro de más meses en operación. En particular, lo más recomendable es obtener información de la adquisición de potencia en los meses restantes del verano como en febrero y marzo.

Potencia Recontratada (kW)	Cantidad de Periodos	Facturación Total		Ahorro Económico	
		Actual	Recontratación	\$	%
31	8	\$ 534.950	\$ 474.865	\$ 60.084	11%

Tabla 8: Resumen del cálculo de recontractación de potencia (Fuente: Elaboración propia).

3.1.3. Compensación de Cos(ϕ)

Como podemos ver en el gráfico 5, los recargo por cos(ϕ) representan el 1%, por lo que no representa un gran ahorro en términos económicos. Tomando el consumo total de energía activa y energía reactiva, se calculó tan(ϕ) y cos(ϕ).

Así, tomando como dato la potencia activa promedio adquirida (en kW), se calculó la potencia capacitiva requerida (en kVAr). Luego, se seleccionó un capacitor trifásico Elecond de potencia reactiva 7,5kVAr. Finalmente, se realizó la evaluación económica, considerando la inversión y el ahorro generado, obteniendo como resultado el período simple de repago (PSR) en meses.

Potencia Reactiva Capacitiva Requerida (kVAr)	Capacidad Requerida (μ F)	Potencia del Banco Capacitor (kVA)	Inversión (\$)	Ahorro Mensual (\$)	PSR (meses)
5,64	17,96	7,50	\$ 7.268	\$ 817	9

Tabla 9: Resultados del cálculo económico del capacitor (Fuente: Elaboración propia).

Entonces, se puede observar que a pesar de que no existe un gran potencial de ahorro con la instalación de un capacitor, se podría realizar dicha inversión obteniendo un período de

repago relativamente bajo de 9 meses. Adicionalmente, la corrección del $\cos(\phi)$ trae beneficios en términos de calidad de energía.

3.1.4. Potencia Eléctrica Instalada

La potencia total instalada resultó en un total de 73,8kW. En el Gráfico 7 se puede observar que la potencia instalada en bombas y equipos de refrigeración son las más relevantes. Mientras que, si observamos el Gráfico 8, el mayor consumo de energía eléctrica es por los equipos de refrigeración.

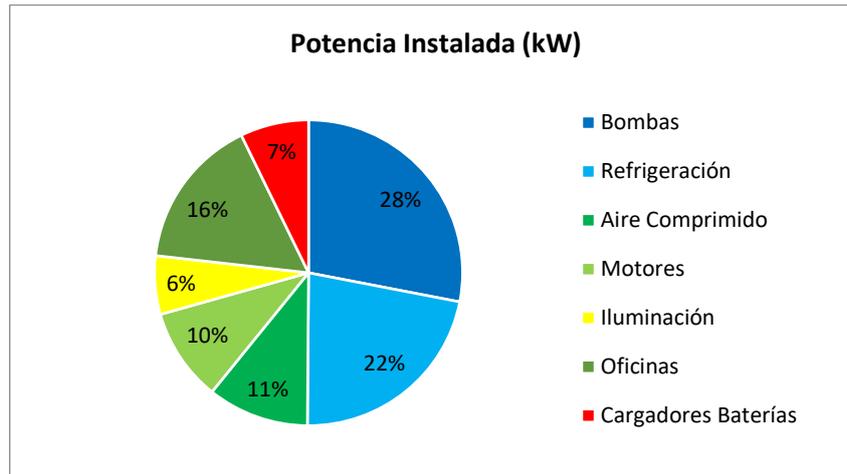


Gráfico 7: Matriz de potencia eléctrica instalada en la fábrica (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

Las categorías representadas en los gráficos 7 y 8 están compuestas por varios equipos. Respecto a la categoría “Bombas”, gran parte de ellas son bombas centrífugas utilizadas para operaciones del proceso cervecero. Mientras que las bombas utilizadas en la caldera y el equipo de ósmosis inversa, que son del tipo eje vertical. Por otra parte, los sistemas de refrigeración están compuestos por la cámara frigorífica donde se almacenan los barriles y el sistema de refrigeración de los tanques de fermentación. Este sistema de refrigeración está compuesto por dos chillers (cada uno con su respectiva bomba de recirculación), un tanque de almacenamiento de agua glicolada, y una bomba centrífuga que transporta el refrigerante a -3°C por el circuito de camisas (ver [Anexo 1](#) para mayor detalle).

La categoría “Aire Comprimido” está compuesta por el compresor de aire y el secador frigorífico asociado. Los motores que no son utilizados para bombeo o compresores, como el motor del molino y el tornillo sinfín, se agrupan en la categoría “Motores”. Todo el equipamiento de iluminación en la planta y en todos los sectores aledaños como baños, oficinas y el depósito están aglomerados en la categoría “Iluminación”. El resto de equipamiento presente en las oficinas y el comedor se agrupan en la categoría “Oficinas”. Finalmente, los cargadores de batería del autoelevador eléctrico y la zorra eléctrica se representan en la categoría “Cargadores de Batería”.

3.1.5. Consumos Eléctricos

En base a la información relevada, se pudo confeccionar la matriz de energía eléctrica de la fábrica y, así, poder conocer los usos significativos de este tipo de energía. Inicialmente, se calcularon los consumos eléctricos en base a las horas de uso como se describió en la [sección anterior](#). De las mediciones realizadas, se obtuvo que el consumo de energía eléctrica promedio es de 8.543kWh/mes. Mientras que el promedio mensual de energía eléctrica estimado resultó ser de 8.688kWh/mes, siendo un 1,7% mayor que el valor medido.

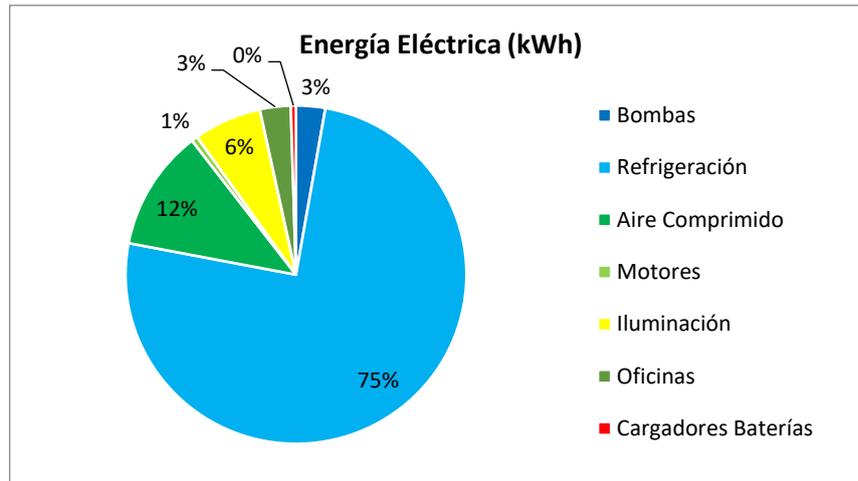


Gráfico 8: Matriz de energía eléctrica de la fábrica (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

En lo que respecta a facturación, se tiene datos de facturación se calculó un promedio ponderado de 8.141 kWh facturados mensualmente. Esto representa un 95,3% de la medición realizada. Por lo cual, se estima que ese 4,7% restante es proveído por el grupo electrógeno. Esto se debe a que inicialmente la planta tuvo que realizar pruebas piloto y la distribuidora se demoró en la conexión del suministro.

3.1.6. Línea de Base de Energía Eléctrica

Para analizar la línea de base energética, se realizó el análisis de correlación del consumo eléctrico (en kWh) con respecto a dos variables diferentes. Por una parte, se encontró que la regresión lineal entre el consumo energético y los litros de cerveza producidos arrojó un coeficiente de determinación (R^2) de 0,27. Según el Protocolo Internacional de Medición y Verificación de Performance (IPMVP) de la Organización de Valuación de Eficiencia (2010), se considera que el valor del coeficiente es aceptable si es mayor a 0,75. Por lo tanto, no existe una buena correlación entre la producción de cerveza y el consumo de energía eléctrica.

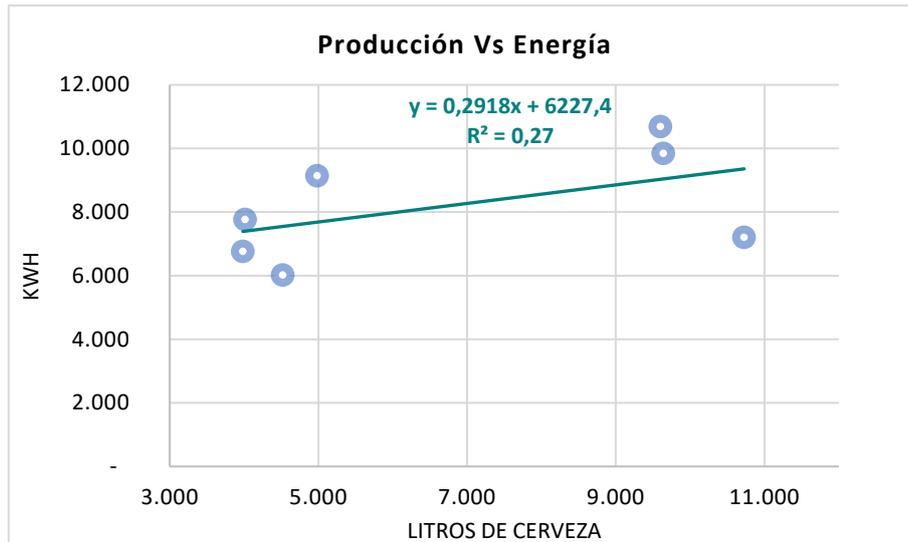


Gráfico 9: Diagrama de dispersión del consumo de energía expresada en kWh versus la producción de cerveza expresada en litros (Fuente: Elaboración propia).

Adicionalmente, se calcularon los déficits grado día de refrigeración o CDDs (*Cooling Degree Days*, por sus siglas en inglés) tomando como temperatura base la temperatura de maduración de las cervezas que es un 1°C. Para este caso, la regresión lineal dio como resultado un R² de 0,95.

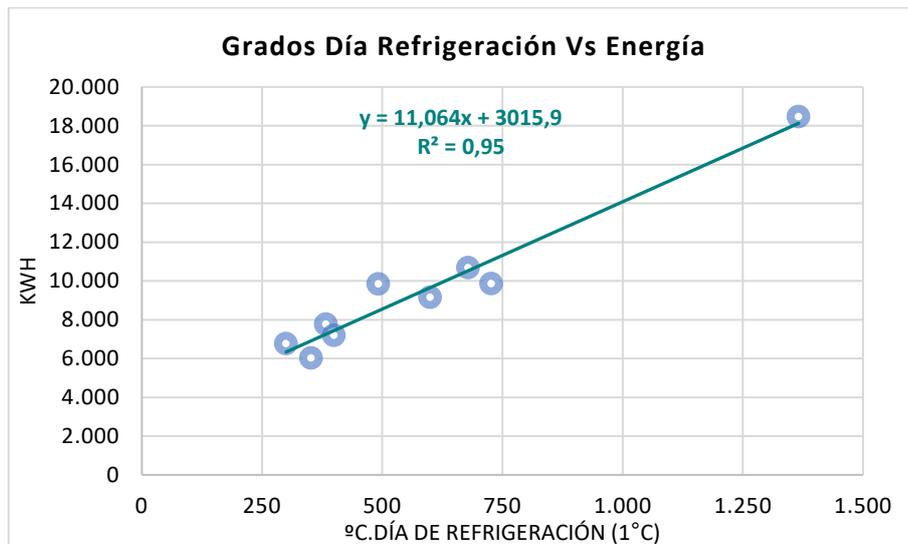


Gráfico 10: Diagrama de dispersión del consumo energético expresado en kWh versus los grados días de refrigeración referidos a 1°C (Fuente: Elaboración propia).

Para realizar una correlación doble es necesario que las dos variables ajusten con un R² aceptable. Dado que la primera correlación de los datos de producción y el consumo de energía no arroja un resultado favorable, se optó por no correlacionar las dos variables, producción y grados día de refrigeración, con el consumo eléctrico. Por lo tanto, se recomienda tomar como línea base, la correlación realizada con los CDD.

3.2. ENERGÍA TÉRMICA

3.2.1. Tarifa de GLP

La facturación de GLP es más simple de analizar, ya que los únicos conceptos son los kilogramos de gas facturados y la tasa de impuestos. Se puede observar que, en comparación a la energía eléctrica, el GLP posee una carga impositiva menor. Siendo la tasa de impuestos de 11%.

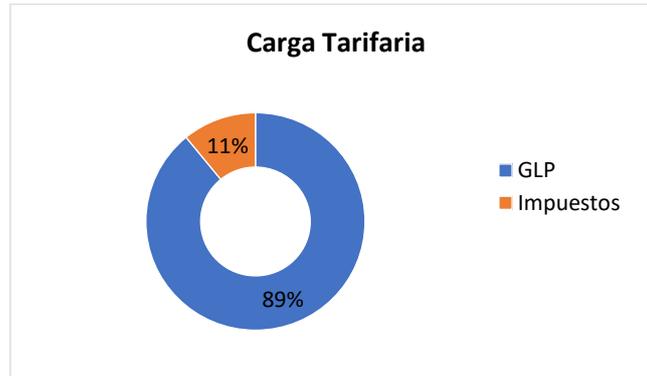


Gráfico 11: Diagrama de torta que describe la participación relativa de cargos en la facturación de GLP (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en la auditoría).

3.2.2. Consumos de Vapor

Como resultado de los cálculos de vapor se pudo confeccionar la siguiente matriz de consumos de vapor (Gráfico 12). El caudal de vapor promedio se estimó en 447 kg/h, teniendo en cuenta que no todos los equipos de vapor se utilizan en el mismo instante. Se puede observar que el tanque de agua caliente y el pasteurizador son los equipos de mayor consumo.

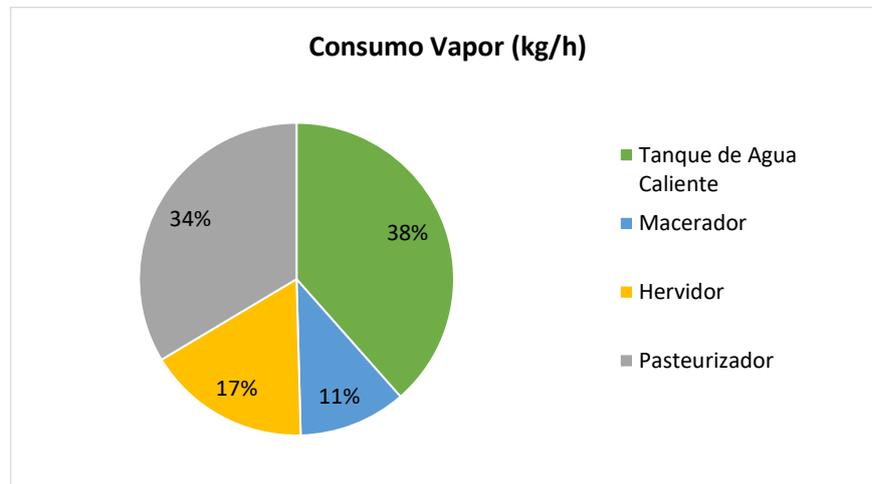


Gráfico 12: Matriz de consumos de vapor (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

3.2.3. Eficiencia Energética de la Caldera

A continuación, se muestran los resultados del cálculo de eficiencia de la caldera por método directo y por método indirecto. Tanto los cálculos de los consumos de vapor, como los cálculos de eficiencia energética de la caldera están contenidos en el [Anexo 5](#) sobre el sistema de vapor.

3.2.3.1. Método Directo:

En base a las observaciones realizadas, se calculó el consumo de GLP, que resultó ser de 31,6 kg/h un día típico de producción.

Capacidad de Tanques	Consumo por Cocción		Horas por Cocción	Consumo Horario
	Kg	%/coc.	kgGLP/coc.	h/coc.
6.315	2,5%	157,9	5,0	31,6

Tabla 10: En este cuadro se muestra el consumo de combustible por hora, teniendo en cuenta las horas que el quemador de la caldera está encendido (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

El agua de alimentación de la caldera, previamente tratada por el ablandador, se almacena en un tanque a temperatura ambiente. Por lo tanto, se estimó esta temperatura tomando el promedio anual en Buenos Aires de 18,26°C, extraído de la página web: <https://www.degreedays.net/>. También, se tuvo en cuenta la presión absoluta de trabajo de la caldera (9 bar). Con esta información de entrada, se extrajeron los valores de las entalpías de entrada y salida de la caldera y el poder calorífico del propano de tablas (Cengel, 2012). Finalmente, se calculó la eficiencia por método directo, cuyo valor resultó ser de 82,7%.

Producción de Vapor	Entalpía del Vapor	Entalpía del Agua de Entrada	Consumo de Combustible	Poder Calorífico Inferior	Eficiencia
kg/h	kJ/kg	kJ/kg	kg/h	kJ/kg	%
447	2.773,0	63,8	31,6	46.340	82,7%

Tabla 11: En esta tabla se muestran los datos y los resultados del cálculo de eficiencia por método directo (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

3.2.3.2. Método Indirecto:

Para conocer la eficiencia de la caldera por método indirecto, es necesario conocer las pérdidas por radiación y convección, las pérdidas por humos y las pérdidas por inquemados. Estos cálculos se realizaron considerando las ecuaciones descriptas en la [sección 2.7.2.1](#).

En principio, las pérdidas por convección y radiación se calcularon en las 3 superficies de la envolvente de la caldera: las superficies trasera y delantera y la superficie cilíndrica del cuerpo. Para ello, se tomó la temperatura en diferentes puntos de la envolvente de la caldera.

Pérdidas por Radiación y Convección						
Superficies	H	Área	Pérdidas Convección	Pérdidas Radiación	Pérdidas Totales	Pérdidas Totales
	kcal/h.m ² .K	m ²	kcal/h	kcal/h	kcal/h	kW
Superficie trasera	4,1	10,8	1.581,6	0,4	1.582,0	1,8
Superficie envuelta cilíndrica	4,4	36,0	3.643,0	0,1	3.643,1	4,2
Superficie delantera	4,1	10,8	1.680,6	0,5	1.681,1	2,0

Tabla 12: En este cuadro se describen las pérdidas por convección y por radiación en cada superficie del cuerpo de la caldera (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

Luego, teniendo en cuenta el caudal de vapor generado y la entalpía del agua a la entrada y salida de la caldera. Se calculó la potencia térmica que resultó de 336,1kW. Así, se calculó en términos relativos las pérdidas por convección y radiación que resultaron ser del 2,4%.

Qvap	Hg	hf	# seg/hora	Potencia Térmica	Pérdidas por Rad y Conv
kg/h	kJ/kg	kJ/kg	s/h	kW	%
446,5	2.773,0	63,8	3.600	336,1	2,4

Tabla 13: En esta tabla se describe el cálculo de las pérdidas por radiación y convección, teniendo en cuenta la potencia térmica de la caldera en kW (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

Como se mencionó anteriormente, las pérdidas por gases de combustión, o pérdidas por humos, se calcularon mediante la fórmula de Siegert. De acuerdo con los datos medidos con el dispositivo Testo 310, estas pérdidas son las más significativas en la caldera, siendo estas de 9,9%.

Pérdidas por Humos (qA)					
Temperatura Gases Escape	Temperatura Aire	A2	B	%O2	Pérdidas por Humos
°C	°C	-	-	%	%
234,6	18,2	0,63	0,008	4,3	9,9

Tabla 14: En esta tabla se describe el cálculo de las pérdidas por los gases de combustión (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta, los valores de A2 y B se recuperaron de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/balance-energetico>).

Con la prueba realizada, no se encontró presencia de CO en la salida de los gases. Por lo tanto, las pérdidas por gases inquemados resultaron ser 0%.

Pérdidas por Inquemados		
%O2	%CO	Pérdidas por Inquemados
%	%	%
4,3	0	0,0

Tabla 15: En esta tabla se describe el cálculo de las pérdidas por los gases inquemados (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

Finalmente, se pudo calcular la eficiencia energética de la caldera, que resultó ser de 87,7%.



Gráfico 13: En el mismo se resumen todas las pérdidas calculadas y el resultado final de la eficiencia de la caldera (Fuente: Elaboración propia a partir de la información relevada en planta).

3.3. DIAGRAMA DE PARETO

Por lo descripto en la metodología del trabajo, sabemos que el diagrama de Pareto es una buena herramienta para establecer un criterio de selección. En este caso, se elaboró teniendo

en cuenta los consumos totales de cada utilidad en la fábrica. Esto permite identificar los usos significativos de la energía. Los resultados se expresan términos relativos en el siguiente gráfico.

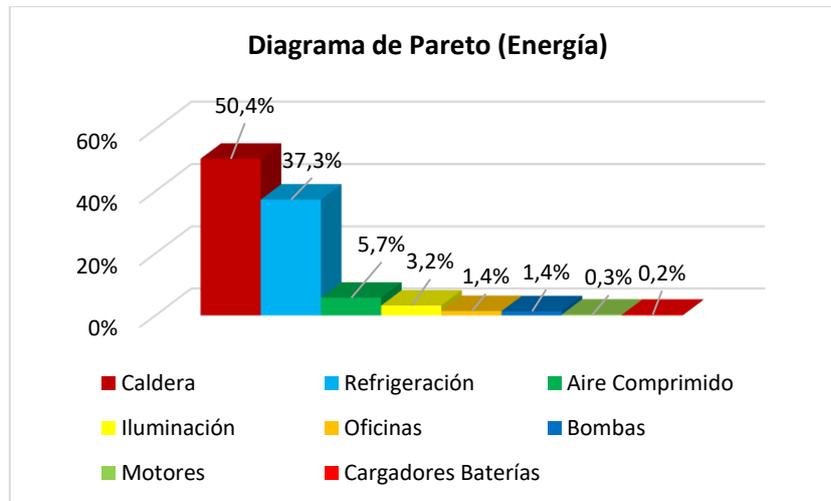


Gráfico 14: Diagrama de Pareto de los usos significativos de la energía en la cervecería (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en planta).

La energía total consumida se estimó en 210.221 kWh/año. En el gráfico se puede observar los 2 principales usos significativos de la energía. Estos representan un 87,7% del consumo de energía total y se dan en la caldera (que incluye a todo el sistema de vapor asociado a ella) y en los sistemas de refrigeración. Prácticamente la mitad del consumo energético total se da en la generación y distribución de vapor (50,4%). Mientras que el consumo en refrigeración representa un 37,3%. El resto de los usos representan el 12,3% de la energía total consumida, siendo los sistemas de aire comprimido e iluminación las utilidades más importantes.

Además, se calcularon los costos energéticos de cada uso de energía para compararlos mediante la misma herramienta de Pareto. El costo total de energía se estimó en \$1.256.318/año. En este caso, el mayor costo energético se da en refrigeración (50%) y en la generación de vapor (33,5%). También, se puede observar que los costos energéticos en compresión de aire representan el 7,7%, y, en iluminación el 4,3%. Debido a esto, podemos intuir que las medidas implementadas en las utilidades de refrigeración van a tener un mayor impacto económico.

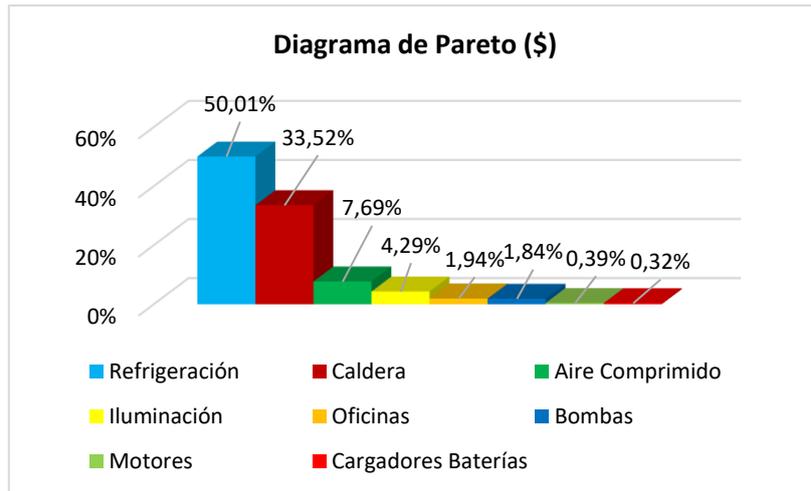


Gráfico 15: Diagrama de Pareto de los costos de los usos significativos de la energía en la cervecería (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos relevados en planta).

Todos los datos con los cuales se construyeron estos diagramas están presentes en los anexos. En particular, los diagramas de Pareto están en el [Anexo 7 – Resumen de Auditoría](#).

4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

En esta sección, se tiene como objetivo mostrar y discutir las oportunidades de mejora encontradas en la auditoría realizada. Como vimos anteriormente los principales usos significativos de la energía se dan en la generación y distribución de vapor y en los sistemas de refrigeración de la cervecería. En esa línea, se describen algunas de las medidas a tomar.

Estas oportunidades de ahorro energético pueden clasificarse en dos grupos: las que no conllevan gasto alguno y aquellas que sí necesitan una inversión inicial. Dentro de las oportunidades que no necesitan inversión, pueden existir: cambios de hábitos de consumo, cambios en la programación de los equipos, regulación de ciertos parámetros de los procesos y el mantenimiento de las instalaciones y los equipos. Mientras que, las oportunidades de mejora que requieren inversión pueden deberse a la sustitución de equipos, la reforma de instalaciones, etc.

4.1. SISTEMA DE VAPOR

Como se pudo ver en los resultados, el consumo en el generador de vapor es el de mayor porcentaje (50,4%). En principio, en lo que respecta a la caldera, es necesario ajustar sus parámetros de operación por un profesional especializado como mínimo cada 3 años. Adicionalmente, se recomienda implementar un plan de mantenimiento que tenga en cuenta cada aspecto de la eficiencia energética de la misma. Para una operación apropiada de la caldera, que lleve a una mejora en su eficiencia, pueden aplicarse las siguientes medidas:

- *Control de las purgas de fondo:* para un uso eficiente de la caldera es un factor clave mantener los sólidos disueltos totales (TDS) del agua en un nivel óptimo. Por lo que el control automático de la purga, ya existente en la caldera, ayuda a aumentar su eficiencia.
- *Recupero de calor de las purgas de fondo:* con el recupero de calor de las purgas de fondo, se pueden obtener ahorros de energía significativos. Por ejemplo, una caldera de presión de trabajo de 8 bar puede presentar una mejora de más del 1,8% en su eficiencia a una tasa de purga del 10%. Instalar un intercambiador de calor en la línea de purga permite que este calor se recuperó para precalentar agua de retorno o agua recién ablandada (Brewers Association, 2015).
- *Exceso de aire apropiado:* la opción más eficiente es adicionar un control de ajuste de oxígeno al sistema que controla el quemador. Pero, sino se puede acceder al mismo, es recomendable ajustar periódicamente la cantidad de aire que ingresa al quemador, garantizando el exceso de aire al mínimo requerido. Esto también debe ser realizado por un especialista o el fabricante de la caldera. Se recomienda que, para instalaciones de combustión de gas como la caldera en cuestión, el coeficiente de exceso de aire (λ)¹ se debe calibrar entre 1,1 y 1,3 (ver Testo)². En el caso de la microcervecería, esto se calibra inicialmente en $\lambda=1,25$ (ver [Imagen 2](#)), pero no existe revisión periódica que asegure que dicho valor se mantenga.

¹ λ (Lambda) es el índice de exceso de aire, es un ratio que relaciona la proporción entre la cantidad de aire real y la estequiométricamente necesaria.

² [Rendimiento de la combustión | Academia Testo](#)

- Reducir las pérdidas por hollín e incrustaciones:** es recomendable evitar depósitos de hollín e incrustaciones en el interior de la caldera ya que estos actúan como aislantes disminuyendo la transferencia de calor. Se estima que un 1% de eficiencia se pierde por cada 22°C de aumento en la temperatura de gases de escape. Es importante registrar periódicamente el valor de esta temperatura como un indicador de depósitos de hollín.
- Minimizar las pérdidas por radiación y convección:** las pérdidas por la carcasa de la caldera son pérdidas que van a existir siempre. Pero, se sugiere mantener en estado óptimo su aislación y reparar a la brevedad si es el caso de una avería en el material aislante.
- Reducción de la presión de vapor:** esto puede traer ahorros de entre un 1 y un 2% en la caldera. Hay que tener en cuenta que cualquier disminución de la presión de trabajo disminuye el volumen específico del vapor en la caldera, y, por lo tanto, el caudal de vapor generado. La presión debería reducirse en etapas y no debería considerarse más de un 20% de reducción por etapa.
- Control de velocidad variable:** como en este caso la carga de la caldera es variable en un día operativo, es recomendable evaluar la posibilidad de utilizar un sistema de alimentación de aire un variador de velocidad en el quemador.

Un factor importante para una caldera eficiente es el mantenimiento. Para ello, además de las medidas mencionadas anteriormente, es necesario considerar aspectos como la composición de los gases de escape, la calidad del aire de combustión, las pérdidas de aire, las pérdidas de calor, la corrosión, etc. En esa línea, se muestra como ejemplo la siguiente tabla, donde se detallan algunas de las acciones más importantes para tener en cuenta:

Descripción	Acción	Frecuencia
Gases de escape	Medición de composición de gases de escape.	Anual
Aire de combustión	Verificar que las aberturas del quemador estén limpias y sin obstrucciones.	En cada uso
	Verificar el coeficiente λ se encuentre en el rango óptimo de trabajo (1,1 – 1,3).	Semestral (Academia Testo)
Pérdidas de Aire	Verificar pérdidas de aire en juntas del quemador, la caldera y la chimenea.	Mensual
Aislación	Inspeccionar toda la aislación y carcasa de la caldera en busca de puntos calientes.	Mensual
Reducción de presión	Verificar correcta regulación de la válvula de reducción de vapor.	En cada uso
Control de nivel	Verificar funcionamiento de los sensores de nivel y el accionamiento de las bombas.	En cada uso

Tabla 16: Acciones de mantenimiento de la caldera. Elaboración propia.

La alternativa descrita anteriormente puede ser muy útil, y fácilmente aplicable. Asimismo, es importante llevar seguimiento de algunos parámetros de la caldera, para lo cual, se confeccionó la Tabla 17.

Fecha	Presión Generación	Presión Distribución	Temperatura Agua Alimentación	Temperatura Gases Escape	Temperatura Ambiente
	kg/cm ²	kg/cm ²	°C	°C	°C

Tabla 17: Registro de presiones y temperaturas. Elaboración propia.

Por otra parte, más allá de las recomendaciones dadas, durante la auditoría energética se encontraron oportunidades de ahorro energético más concretas. A modo de resumen y con el afán de ser más prácticos, se pueden enumerar las siguientes medidas:

1. Reducir la presión relativa de generación en la caldera a 4 bar. Al reducir la presión de generación disminuimos el caudal de entrega de la caldera. Pero, obtenemos un vapor de mayor entalpía en la generación. Esto se traduce aproximadamente en un 1% de ahorro en combustible en la generación de vapor.
2. Durante la auditoría, se detectó que muchas veces se realizan las operaciones de cocción y pasteurización en dos días diferentes a la semana, lo que implica mayor gasto energético en la puesta en régimen de la caldera. Por lo tanto, una medida de nula inversión es realizar estas dos operaciones simultáneamente en el mismo día, aprovechando el vapor restante generado durante una cocción para calentar el agua de pasteurización. Esto ahorra un 18,4% de combustible utilizado, considerando que se evite encender la caldera 2 veces para ambas operaciones y sólo se encienda una vez.
3. En la operación de pasteurización, se detectó una pérdida de agua a 62°C de aproximadamente 52 litros por hora. Esto representa una pérdida del 1,9% del flujo de calor utilizado en pasteurización. Solucionar la pérdida de agua caliente en el pasteurizador resulta una medida adecuada para ahorrar gasto energético en combustible.
4. La fábrica cuenta con un tanque de retorno de condensado, pero es muy pequeño para almacenar la cantidad de condensado generado durante la cocción. Si se contara con un tanque de mayor volumen, el agua condensada no rebalsaría y se evitaría drenarlo por la canaleta. Por lo cual, sustituir el tanque de retorno de condensado por uno de mayor volumen surge como una medida altamente viable para evitar estas pérdidas de condensado.

En ese sentido, se analizaron caso por caso estas medidas, calculando los ahorros esperados en términos de combustible (kg de propano por año), su equivalente en kWh por año y en términos relativos respecto al consumo energético total. También, se realizaron los cálculos económicos como el período simple de repago y la cantidad de emisiones evitadas (kgCO₂ por año). Mayor detalle de estos cálculos se pueden encontrar en los Anexos [4](#), [5](#) y [6](#).

Acción Propuesta	Ahorro Energético			Ahorro Económico		Inversión	Período Simple de Repago	Factor de Emisión de Propano	Emisiones de CO ₂ Evitadas
	kgProp/año	kWh/año	%	\$/año	%				
						\$	años	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂ /año

Reducir presión de vapor en caldera a 4 bar.	74,1	1.192	0,6%	\$ 4.255	0,3%	\$ 0	0	2,938	218
Realizar las operaciones de cocción y pasteurización simultáneamente.	1.516,8	19.525	9,3%	\$ 87.105	6,9%	\$ 0	0	2,938	4456
Solucionar pérdidas de agua caliente en el pasteurizador.	53	681	0,3%	\$ 3.040	0,2%	\$ 0	0	2,938	293
Sustituir el tanque de retorno de condensado por uno de mayor volumen.	722	9.296	4,4%	\$ 41.472	3,3%	\$ 50.000	1,4	2,938	2.122

Tabla 18: Resumen de las oportunidades de mejora más importantes y fáciles de implementar del sistema de vapor. Elaboración propia.

Además, pueden enumerarse otras medidas que requieren una inversión mayor y un análisis más exhaustivo:

- Realizar una auditoría de las trampas de vapor para conocer cuales están operando correctamente. Adicionalmente, se recomienda utilizar trampas de flotador en los equipos de cocción, ya que se condensa vapor frecuentemente, teniendo que purgarlo manualmente.
- Realizar una auditoría termográfica periódica de la caldera y todo el sistema de vapor, incluyendo los equipos de consumo, con el fin de detectar pérdidas de calor.
- Evaluar la colocación de bolsillos de condensado en los codos del sistema de cañerías de vapor, en particular la línea más extensa que alimenta al pasteurizador.
- Evaluar el up-grade de las válvulas de ingreso de vapor a los equipos de cocción, es decir, utilizar válvulas cuya apertura sea regulable.
- Tanque de agua caliente: evaluar la posibilidad de colocar un intercambiador de calor para el calentamiento de agua de proceso, ya que posee un coeficiente de transferencia mayor, ahorrando tiempo de proceso. Otra alternativa sería colocar un agitador para aumentar el coeficiente de transferencia de calor y, además, facilitar la disolución de sales en el TAC.
- Instalar un recuperador de calor del vapor generado en el hervidor para precalentar el agua de la siguiente cocción o el agua del TAC.
- Dado que el proceso de pasteurización requiere un control más fino, sería recomendable instalar un sistema de control modulante que permita regular el ingreso de vapor de acuerdo con la temperatura seteada. Esto ayudaría a controlar el proceso y a consumir más eficientemente el vapor de calentamiento.
- El sistema de distribución de vapor está correctamente aislado. Pero, cuando se genere alguna avería, se recomienda repararlas inmediatamente.

Estas son medidas aplicables al caso de estudio. Muchas de estas pueden ser encontradas en bibliografía sobre la temática, por ejemplo, la *Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor* del Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía (2020), o el manual *Energy Usage, GHG Reduction, Efficiency and Load Management Manual* de la Brewers Association (USA).

4.2. REFRIGERACIÓN

Si tenemos en cuenta los costos energéticos de la microcervecería, la energía eléctrica tiene mayor importancia respecto al GLP. A pesar de que el uso de la energía más significativo se da en la caldera donde se utiliza GLP, no tiene un gran peso económico asociado, representando el 33% de los costos energéticos. Mientras que los costos de energía eléctrica cubren el 66% restante. En cuanto a los costos de los procesos de refrigeración, estos representan el 50% del costo total energético.

Por otra parte, se pudo observar que el consumo de electricidad tiene una dependencia casi lineal con los grados días de refrigeración. A su vez, según lo auditado, el consumo de los sistemas de refrigeración representa el 75% de la energía eléctrica consumida, lo que validaría el punto anterior. Por lo tanto, se puede asegurar que cualquier medida de uso racional o eficiencia energética en los sistemas de refrigeración traería sustanciales ahorros en la facturación actual.

A continuación, se detallan las oportunidades de ahorro energético que se han encontrado en los sistemas de refrigeración, que no requieren inversión alguna:

- Limpieza periódica de filtros e interior del chiller.
- Mantener la cámara frigorífica cerrada cuando no se está utilizando.
- Subir un grado a la temperatura de fermentación secundaria, es decir, setear la temperatura de maduración a 2°C. Considerando que el consumo de refrigeración es lineal con los CDD, se estimó que esta medida disminuiría un 5,8% la energía consumida en refrigeración de los tanques.
 - Subir un grado a la temperatura del set point del contenedor frigorífico, es decir, aumentar la temperatura de trabajo de 4°C a 5°C. Esto ahorraría un 7% del consumo del container.

Por otra parte, las medidas que tendrían mayor impacto están relacionadas con las oportunidades de mejora que requieren adquisición o sustitución de equipos y modificaciones en las instalaciones existentes.

- Reparación inmediata de pérdidas y aislamiento en el circuito de refrigeración de los tanques de fermentación.
- Convertir el actual sistema de refrigeración de tanques por chillers a uno con alimentación inverter y sistemas de bombeo inverter. Song, Akashi y Yee (2007) en *Energy performance of a cooling plant system using the inverter chiller for industrial building*, aseguran que esto ahorraría hasta un 47% de energía respecto a los sistemas convencionales.
 - Evaluar la utilización de un sistema de control difuso en compresores de cámaras frigoríficas, ya que puede generar ahorros del 13% en el consumo energético respecto a sistemas termoestáticos, según Aprea, Mastrullo y Renno en 2004.

4.3. OTRAS OPORTUNIDADES

Habiéndose identificado las oportunidades de ahorro energético en los dos usos significativos de la energía, se encontraron otras que pueden contribuir a una mejora en el desempeño energético. Pero, no traerían grandes ahorros.

4.3.1. Aire Comprimido

En lo que respecta al aire comprimido, se pueden mencionar ciertas medidas que no requieren inversión alguna. En ese sentido, muchas de estas están destinadas a la operación de las instalaciones (ver [Imagen 10](#)).

- La presión de línea está seteada en 8 bar. Mientras que todo el equipamiento presente en la fábrica requiere de 6 bar. Según una regla de oro de la Brewers Association, una disminución de 1 bar en la presión de línea lograría una mejora del 7% en la eficiencia de la instalación.
- No utilizar el aire comprimido para impulsar motores o para que el personal se refresque.
- La temperatura del aire ambiente del compresor también puede influir en la eficiencia de este. Otra regla de oro establece que si se reducen 5°C se obtiene una mejora del 2% en la eficiencia energética del compresor (Brewers Association).

El mantenimiento de la línea de aire comprimido es importante para el funcionamiento eficiente de todo el sistema. En ese sentido, se propone identificar las áreas donde es más probable que ocurran pérdidas de aire, por ejemplo:

- La conexión que alimenta la línea de aire comprimido.
- Mangueras que se utilizan para alimentar las máquinas.
- La trampa automática de purga del tanque pulmón de aire comprimido.
- Acoples rápidos.

Una medida recomendable es tener un registro de las pérdidas de toda la línea de aire comprimido. Por lo tanto, se propone la siguiente planilla de registro:

Pérdidas de Aire Comprimido			
Área	Fecha Detección	Gravedad	Fecha Reparación

Tabla 19: Planilla de registro y reparación de pérdidas. En ella se puede indicar el área identificada, la fecha de detección, la gravedad de la pérdida (baja, media y alta) y la fecha de reparación. Fuente: elaboración propia.

Actualmente el índice de potencia específica del compresor es de 5,85kW/m³/min y posee un índice de eficiencia energética IE3. No se hallaron oportunidades de ahorro de gran impacto. Pero, se encontró una oportunidad de mejora fácil de aplicar que consiste en utilizar una boquilla atomizadora para la limpieza del molino y el tornillo sinfin. Ayrful es un posible

proveedor que asegura ahorros del 80% de energía en su utilización, en comparación con la utilización de mangueras abiertas como se realiza hoy en día.

4.3.2. Iluminación

En los sistemas de iluminación, no se encontraron grandes oportunidades de ahorro energético, ya que todos los artefactos de iluminación son de tecnología LED. Adicionalmente, las luces externas están controladas con timer, y algunas de ellas poseen sensor fotosensible o sensor de movimiento. A pesar de ello, se han encontrado algunas medidas que pueden colaborar al funcionamiento eficiente de los sistemas de iluminación.

En la zona del comedor y las oficinas, como oportunidad de mejora, se encontró que algunas veces se dejan luces prendidas en lugares que no están siendo ocupados. Por otra parte, se recomienda revisar y cambiar el set point en el timer durante las estaciones del año que tienen más horas de día. Por ejemplo, de octubre a marzo, disminuir la cantidad de horas de encendido.

4.3.3. Oficinas

Como oportunidades de mejora en las oficinas y el comedor que no requieren inversión alguna, se recomiendan las siguientes medidas generales:

- En los equipos de acondicionamiento de aire, setear la temperatura de operación en 24°C.
- Mantener las aberturas cerradas de las oficinas y el comedor cuando se está utilizando el acondicionar de aire.
- Desconectar los cargadores de celular y otros equipos que no estén en uso.

4.3.4. Sistemas de Bombeo

Durante la auditoría realizada se relevó todo el parque de bombas existente, pudiendo detectar cuales son los sistemas de bombeo más utilizados. En un principio, la bomba que más horas operativas tiene es la bomba que transporta la solución de glicol a los tanques de fermentación. Esta bomba es de una potencia eléctrica de 1,01kW y se estimó que se utiliza 20hs diarias. Esta bomba no está incluida en esta categoría, ya que formaría parte del sistema de refrigeración, entonces su consumo se contabiliza en esta categoría. Sin embargo, se recomendó implementar un sistema de control inverter que pueda adaptarse a los períodos de menor demanda.

Dada la cantidad de bombas existentes, y siendo que las bombas con más horas de uso poseen cargas que son estables y no requieren de cambios de velocidad. Por ejemplo, la bomba presurizadora del circuito de alimentación de agua de 1,28kW que se utiliza para la presurización de la línea. Otro ejemplo es la bomba de la estación de limpieza CIP (por sus siglas en inglés, *Cleaning In Place*) de 1,04kW, que está dimensionada para ser utilizada para una limpieza efectiva en los tanques de fermentación. A pesar de ello, en el patio de fermentación se cuenta con un variador de frecuencia que se puede utilizar en las bombas móviles como son la de CIP y la bomba de filtración.

4.3.5. Motores Eléctricos

En esta categoría se engloban los motores eléctricos que no accionan bombas. Como vimos anteriormente, este no representa un consumo significativo de la energía. Pero, se han encontrado recomendaciones que pueden requerir o no alguna inversión:

- En los días de cocción de cerveza, durante la molienda se recomienda no operar el molino y tornillo sin fin en condiciones de vacío. Para ello, el operador debe estar atento para suministrar las bolsas de malta asegurándose que nunca se vacíe la tolva del molino.
- Teniendo en cuenta que la caldera es un equipo altamente utilizado en la fábrica, se recomienda evaluar la posibilidad de utilizar un quemador modulante para la misma. Este consume menor energía eléctrica y se estima que se puede generar un ahorro del 10% en el consumo de combustible, ya que la modulación permite realizar menos paradas en la operación del quemador.

4.3.6. Cargadores de Batería

En la fábrica auditada, se utilizan dos equipos eléctricos para el transporte de carga, un auto elevador eléctrico y una zorra eléctrica. A su vez, estas máquinas se cargan a través de un regulador de carga que se alimenta de la red trifásica. Los reguladores de carga transforman la corriente alterna de la red en corriente continua. Por lo que, si se dispusiera de alguna fuente de corriente continua, el proceso de transformación sería más eficiente.

Por eso, es interesante evaluar la posibilidad de cargar estas baterías con energía solar. La dificultad que se presenta es que los horarios de carga serían durante las horas del día cuando estos equipos requieren ser utilizados. Por lo tanto, deberían utilizarse otras baterías. Pero, se presenta otra dificultad que es el peso de estas y la dificultad para cambiarlas rápidamente.

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La norma ISO 50.001 propone un enfoque sistémico para alcanzar la mejora continua en el desempeño energético. En este trabajo se buscó hacer hincapié en los requerimientos medulares que son aquellos centrados en la gestión misma de la energía. Por lo tanto, a continuación, se describen algunos puntos que son clave para la futura implementación de un SGE. Estos son los indicadores de desempeño, los objetivos, las metas y los planes de acción.

4.4.1. Indicadores de Desempeño

Los indicadores de desempeño permiten cuantificar el desempeño energético de la organización analizada. Generalmente estos son parámetros medibles que sirven como referencia para comparar el desempeño energético de esta la empresa respecto a otras organizaciones del rubro, o para comparar el propio desempeño energético pasado. En ese sentido, se han planteado los siguientes indicadores de desempeño, que permitirán monitorear a futuro si se está avanzando en el uso racional de energía y la eficiencia energética dentro de la microcervecería.

Uso	Fuente de Energía	Indicador	Unidades
Generación de Vapor	GLP (MJ)	Consumo de combustible por unidad producida	MJ/hL
Producción	Electricidad (kWh)	Consumo de electricidad por unidad producida	kWh/hL
Refrigeración	Electricidad (kWh)	Consumo de electricidad por grados día	kWh/°C.día

Tabla 20: Indicadores de desempeño establecidos para el caso analizado. Elaboración propia.

En primer lugar, se propuso un indicador que expresa el consumo de combustible en generación de vapor por unidad producida. Este permite medir la cantidad de GLP expresado en MJ por cada hectolitro de cerveza producida. El segundo indicador que se propuso expresa el consumo de electricidad por unidad producida. En la bibliografía estudiada (el manual de la Brewers Association y los trabajos de Strum en 2013 y Kubule en 2016) se encontraron los valores de referencia para ambos indicadores.

Fuente de Energía	Unidad	Indicador Actual	Indicadores de Referencia	
			Min	Max
Electricidad	kWh/hL	115	23	44
Combustible	MJ/hL	415	160	316

Tabla 21: Tabla que muestra los valores actuales de los indicadores en la fábrica. A su vez, se muestran los valores de referencia encontrados en la bibliografía.

Puede observarse que el indicador de electricidad se encuentra en un valor que excede por casi 3 veces a los valores de referencia. Se estima que este desvío se debe a que la fábrica todavía no está operando cerca de su capacidad máxima de producción (19.500 litros mensuales), ya que el punto máximo de producción en el período analizado está cerca de los 11.000 litros por mes. Por otra parte, el indicador de consumo de combustible por unidad producida se encuentra en un valor de 415 MJ/hL más cercano del valor máximo de referencia. El valor actual debería mejorarse un 33% para estar en los rangos de referencia.

Adicionalmente, se propuso otro indicador que podría monitorearse y aplica al caso en estudio. Uno es el indicador de los kWh/°C.día que podría ser medido en cada período. Para el período analizado este indicador toma el valor de 17kWh/°C.día (referidos a 1°C). No se ha encontrado un valor de referencia. Pero, se recomienda monitorear este indicador, ya que, si se implementa alguna mejora en las instalaciones de refrigeración, este debería disminuir su valor.

4.4.2. Objetivos, Metas y Planes de Acción

En base a los resultados obtenidos en la auditoría, se propone definir objetivos, metas y planes de acción, con el fin de mejorar el uso, el consumo y el desempeño energético. Los objetivos deberán ser coherentes con la política energética de la empresa. Estos deben cumplir con algunos criterios: ser específicos, medibles, acotados en el espacio y en el tiempo y fáciles de alcanzar.

Para garantizar el cumplimiento de los objetivos y las metas definidas, se establecen planes de acción. Estos planes de acción permiten dar seguimiento a los objetivos y las metas, deberán

ser documentados y actualizados a intervalos definidos. Una primera documentación se presenta en la Tabla 22.

Objetivo	Meta	Indicador	Responsable	Plazo
1. Reducir 12% el consumo anual de GLP comparado al año 2020.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistematizar el almacenamiento de facturas de GLP. 2. Aplicar las acciones de mantenimiento presentadas anteriormente. 3. Realizar el seguimiento de la planilla de registro de parámetros. 4. Implementar las oportunidades de mejora planteadas. 	kg Propano	Producción	1 año
2. Mejorar el proceso de medición de energía eléctrica. Conocer el perfil diario de la microcervecería.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprar el equipamiento de conexión RS485 del analizador de redes. 2. Adquirir el software compatible. 3. Realizar el conexionado del medidor. 4. Registrar los datos de consumo energético. 	N° Medidor	Producción	6 meses
3. Disminuir 10% el gasto anual de electricidad comparado al año 2020.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Registrar las facturas sistemáticamente. 2. Aplicar las medidas operativas recomendadas. 3. Implementar las oportunidades de mejora planteadas. 	kWh	Producción	1 año
4. Dar capacitación de eficiencia energética.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir material de estudio. 2. Establecer el programa de capacitación orientado a la eficiencia energética en cervecerías. 3. Realizar por lo menos un curso anual. 4. Definir un gestor energético. 	Cursos: 1 Encargado: 1	Producción	1 año

Tabla 22: Plan de acción definido para el caso de estudio. Elaboración propia.

4.5. RESUMEN DE OPORTUNIDADES

Para dar un cierre a esta sección, se resumen las principales oportunidades de mejora que se encontraron. Estas medidas son fáciles de aplicar y se calcula que tendrán un gran impacto en el consumo energético total de la microcervecería. Las primeras medidas se centran en el consumo de vapor y las últimas dos son medidas enfocadas en el consumo de refrigeración. Esta información se puede encontrar en el [Anexo 7 – Resumen Auditoría](#).

OPORTUNIDADES DETECTADAS							
Acción Propuesta	Ahorro Energético		Ahorro Económico		Inversión	Período Simple de Repago	Emisiones de CO ₂ Evitadas
	kWh/año	%	\$/año	%	\$	Años	kgCO ₂ /año
Reducir presión de vapor en caldera a 4 bar.	954	0,5%	\$ 4.255	0,3%	\$ 0	0	218

Realizar las operaciones de cocción y pasteurización simultáneamente.	19.525	9,3%	\$ 87.105	6,9%	\$ 0	0	4456
Solucionar pérdidas de agua caliente en el pasteurizador.	681	0,3%	\$ 5.096	0,4%	\$ 0	0	293
Sustituir el tanque de retorno de condensado por uno de mayor volumen.	9.296	4,4%	\$ 41.472	3,3%	\$ 50.000	1,4	2.122
Subir un 1°C la temperatura de maduración.	3.106	1,5%	\$ 24.881	2,0%	\$ 0	0	1.330
Subir un 1°C la temperatura del contenedor frigorífico.	1.741	0,8%	\$ 13.947	1,1%	\$ 0	0	745

Tabla 23: Resumen de las oportunidades de mejora más relevantes en la microcervecería auditada. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El consumo de las cervezas artesanales se ha incrementado los últimos años. Debido a este auge de la cerveza artesanal son cada vez más los establecimientos que surgen como la microcervecería auditada en este trabajo. Por lo tanto, este trabajo se presenta como un buen puntapié inicial para que más fábricas como esta implementen medidas de eficiencia energética y sean más conscientes de su consumo de energía.

En este trabajo se tomaron como referencia los requerimientos medulares de la norma ISO 50.001. También, la norma de auditorías energéticas ISO 50.002, sirvió como modelo para definir el nivel de auditoría a realizar, definir el cronograma de trabajo y los datos a relevar. En ese sentido, la auditoría energética sirvió como herramienta fundamental para identificar los usos significativos de la energía en la fábrica. A su vez, esta revisión energética se establece como un paso primordial para la futura implementación de un Sistema de Gestión de la Energía.

Respecto a los usos significativos en la microcervecería, se pudo observar que estos son similares a los que establecen algunos trabajos anteriores como el de la Brewers Association. Al igual que lo describe el manual, el principal uso significativo de energía se da en la generación de vapor para la sala de cocción y la pasteurización, cubriendo el 50% del consumo energético total de 210.221kWh/año. Mientras que el segundo uso significativo es la energía eléctrica utilizada en refrigeración, un 37% del total.

La eficiencia energética de la caldera calculada por el método directo resultó en 82,7% y por el método indirecto arrojó un valor de 87,7%. En ese sentido, se encuentra que el método indirecto resulta más acertado, ya que requiere mayor análisis y se acerca al valor que entregó el analizador de gases. A pesar de la buena eficiencia en la generación de vapor, se encontraron algunas oportunidades de ahorro energético en el consumo de vapor. Las medidas a tomar, en gran parte, tienen que ver con acciones operativas o de baja inversión, siendo fáciles de implementar.

Entre las medidas sin inversión, está la reducción de presión de vapor relativa a 4 bar que representa un 0,5% de ahorro energético. También, se estimó un ahorro del 0,3% de la energía total si se solucionan las pérdidas del pasteurizador. Adicionalmente, se detectó que, al realizar las operaciones de cocción y pasteurización en el mismo día a la semana, podría evitarse un 18,4% del combustible consumido (8.232kg/año).

En cuanto a las medidas con inversión, se calculó un ahorro del 4,4% respecto a la energía total consumida, si se logra recuperar adecuadamente el condensado de vapor. Para ello será necesario sustituir el tanque de retorno de condensado por uno de mayor volumen que implicaría una inversión aproximada de \$50.000. Aplicando todas las medidas mencionadas, existe un potencial de ahorro del 14,5% que equivale a 30.456 kWh/año.

Respecto al consumo de electricidad, se detectaron ahorros económicos considerables en la contratación de potencia y la corrección del $\cos(\varphi)$. Inicialmente, si se recontracta a una potencia de 31kW, podría ahorrarse un 11% de la facturación eléctrica actual de \$534.950 en 8 meses. También, se detectó que el consumo de energía eléctrica no tiene alta correlación con los litros

de cerveza producidos, ya que el R^2 es igual a 0,27 un valor mucho menor a 0,75, el valor recomendado por la Organización de Valuación de Eficiencia.

Por otra parte, el consumo energético si tiene buena correlación con los grados día de refrigeración, arrojando un coeficiente R^2 de 0,95. Adicionalmente, se estimó que el 75% del consumo eléctrico es por refrigeración. Por eso, se propusieron medidas que cambien la forma de operación en estos sistemas. Algunas de estas consisten en cambiar el set point de temperatura de maduración, cuyo ahorro se estimó en casi un 6% de su consumo por aumentar 1°C. Esto representa un ahorro del 1,5% en el consumo total energético y un ahorro económico anual de 2% equivalente a \$24.888. Si además modificamos el set point del contenedor frigorífico, se totaliza un potencial de ahorro energético del 2,3% del total (es decir, 4.847kWh/año) y, en términos económicos, aproximadamente \$40.000 anuales.

Para dar un primer paso en la futura implementación de un sistema de gestión de la energía, se establecieron los principales indicadores de desempeño adecuados a la industria analizada. Comparando los valores obtenidos en este trabajo, se encontró que hay una diferencia sustancial respecto al consumo de combustible térmico de 415MJ por hectolitro producido. Este valor es un 31% mayor al máximo valor encontrado en la bibliografía de 316MJ/hL. Por otra parte, el indicador de consumo eléctrico también arrojó un resultado desfavorable, siendo este de 118kWh/hL, un valor casi 3 veces mayor a 44kWh/hL, que fue el valor máximo encontrado para este indicador. A su vez, la fábrica se encuentra en proceso de crecimiento y todavía no está produciendo la cantidad de litros para la cual fue diseñada (19.500 litros mensuales), ya que su pico de producción en el mes de enero de 2021 se acerca a los 11.000 litros. Por lo tanto, se infiere que esta gran diferencia, se debe a esta razón.

Finalmente, es importante que esta cervecería mantenga con constancia sus políticas energéticas atacando estos usos significativos de la energía y poniendo en práctica los planes de acción planteados. A su vez, es esencial que designen un responsable de la gestión energética dentro de su organización. Siempre se pueden obtener mayores ahorros energéticos implementando cambios tecnológicos que conllevan mayor inversión. Sin embargo, empresas como la auditada no poseen los recursos financieros para acceder a este tipo de inversiones. Por lo cual, se podría replicar esta auditoría en otras microcervecías, designar encargados de la gestión energética y buscar proyectos de eficiencia energética en común. Esto hasta podría facilitar el financiamiento de dichos proyectos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- A. Kubule et al (2016). *Highlights on energy efficiency improvements: a case of a small brewery*. Journal of Cleaner Production. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.131.
- Academia Testo (2021). *Grandes instalaciones de combustión*. Recuperado de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/grandes-instalaciones-de-combustion-1>
- Academia Testo (2021). *Rendimiento de la combustión*. Recuperado de <https://www.academiatesto.com.ar/cms/rendimiento-de-la-combustion>
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2013). *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en ISO 50001*. Santiago de Chile: de Laire, M.
- Agencia Internacional de Energía (2015). *Energy Efficiency: The first fuel of a sustainable global energy system*. París. Recuperado de <https://www.minem.gob.ar/www/835/25538/eficiencia-energetica#:~:text=El%20uso%20responsable%20apunta%20a,o%20inteligente%20de%20la%20misma>.
- Arjona, A. (2019). *Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor*. (Trabajo de fin de máster). Dpto. Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Ayrful (2021). *¿Por qué elegir las Boquillas de Soplado y los Jets de Aire?* Recuperado de: <https://www.ayrful.com.ar/productos/exair/boquillas-de-soplado-y-jets-de-aire/boquillas-soplado/>
- B. Sturm et al (2013). *Opportunities and barriers for efficient energy use in a medium-sized brewery*. Applied Thermal Engineering. Volumen 53, Páginas 397-404.
- Brewers Association (2015). *Energy Usage, GHG Reduction, Efficiency and Load Management Manual*. Estados Unidos. Recuperado de: https://www.brewersassociation.org/attachments/0001/1530/Sustainability_Energy_Manual.pdf
- British Petroleum (2019). *BP Energy Outlook: 2019 Edition. 68th Edition* (p. 29). Londres.
- Bromley, M. (2013). *Degree Days in EnergyDeck - An Introduction by Martin Bromley*. Fabriq Blog. Recuperado de: <https://fabriq.space/blog/degree-days-energydeck-introduction-martin-bromley/>
- C. Aprea, R. Mastrullo y C. Renno (2004). *Fuzzy control of the compressor speed in a refrigeration plant*. International Journal of Refrigeration. Volumen 27, Páginas 649-648.
- Calderas Markowicz (2020). *Calderas – Modelos y Especificaciones*. Recuperado de: <https://calderasargentinas.com.ar/modelos-y-especificaciones/>
- Canavos, G. (1988). *Análisis de regresión: el modelo lineal simple*. En *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos* (pp. 443 – 502). México DF: McGraw-Hill/Interamericana de México.
- Cengel, Y. y Boles, M. (2012). *Termodinámica*. Séptima Edición. Nueva York: Editorial McGraw Hill.
- Circutor (2020). *Analizador de Redes CVM-NRG96 – Manual de Usuario*. Versión Extendida. Recuperado de: <http://docs.circutor.com/docs/M98172501-01.pdf>



- Clean Energy Ministerial (2018). *Global Energy Management System Implementation: Case Study – Mastellone Hnos S.A.* General Rodríguez, Buenos Aires. Recuperado de https://www.cleanenergyministerial.org/sites/default/files/2019-05/CEM_EM_CaseStudy_Mastellone_Argentina.pdf
- Clean Energy Ministerial (2019). *ISO 50001 Energy Management System: Case Study - A-Evangelista S.A. (AES)*. Canning, Buenos Aires. Recuperado de http://www.cleanenergyministerial.org/sites/default/files/2019-05/CEM_EM_CaseStudy_AESA_Argentina.pdf
- Clean Energy Ministerial (2019). *ISO 50001 Energy Management System: Case Study – C. T. Genelba (Pampa Energía)*. Marcos Paz, Buenos Aires. Recuperado de https://www.cleanenergyministerial.org/sites/default/files/2019-05/CEM_EM_CaseStudy_Pampa_Argentina.pdf
- Clean Energy Ministerial (2019). *ISO 50001 Energy Management System: Case Study – Mondino S.R.L.* Rosario, Santa Fé. Recuperado de https://www.cleanenergyministerial.org/sites/default/files/2019-05/CEM_EM_CaseStudy_MONDINO_Argentina.pdf
- Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía (2020). *Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor*. Revisión y Edición por Lic. Zabaloy e Ing. Afranchi. Buenos Aires.
- Eficiencia Energética en Argentina (2019). *Medidas de Eficiencia Energética y Barreras para su Implementación en las PyMEs del Sector Industrial Argentino* (pp. 4-6). Buenos Aires.
- Eurochambres (2010). *Energy Efficiency in SMEs: Success Factors and Obstacles* (p. 5). Bruselas.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007). *Guía técnica sobre inspección periódica de eficiencia energética para calderas*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, España.
- Larrahondo Chavez, D. A. (2019). *Implementación de una auditoría energética de acuerdo a la Norma ISO 50002 en una empresa panificadora* (Tesis de grado). Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. Recuperada de <http://red.uao.edu.co:8080/bitstream/10614/11657/8/T08820.pdf>
- Libkind, Bruzone y Stanciu (2018). *Encuesta sobre la producción de cerveza artesanal y el uso de levaduras para una mayor diferenciación, calidad y productividad de las cervecerías artesanales*. Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales, San Carlos de Bariloche.
- Martin Bromley (2021). *Degreedays*. ID de estación meteorológica: SABE. Recuperado de: <https://www.degreedays.net/>
- Ministerio de Salud (2020). *Decreto 297/2020. Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio*. Buenos Aires. Recuperado de: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/227042/20200320>
- Olcese, I. (mayo, 2018). *Seminario: Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor*. Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín.
- Organización de Valuación de Eficiencia (2010). *Protocolo Internacional de Medición y Verificación de Desempeño* (p. 110). Recuperado de: https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/ipmvp_2010_-_volumen_i_-_espan_ol

- Organización Internacional de Normalización (2011). *Norma ISO 50001: Sistemas de Gestión de la Energía*. Traducida por el Grupo de Trabajo Spanish Translation Task Force (STTF) del Comité Técnico ISO/PC 242, *Gestión de la energía*.
- Organización Internacional de Normalización (2014). *Norma ISO 50002: Auditorías Energéticas*. Traducida por el Grupo de Trabajo Spanish Translation Task Force (STTF) del Comité Técnico ISO/PC 242, *Gestión de la energía*.
- Risso, N. (4 de agosto de 2018). La cerveza artesanal gana terreno: proyecciones del negocio de moda. *El Cronista*. Recuperado de <https://www.cronista.com/pyme/negocios/Cerveza-artesanal-un-mercado-efervescente-que-crecio-40---20180801-0003.html>
- Rodríguez Navia, E. (2015). *Evaluación del desempeño energético de la cervecería "Antonio Díaz Santana" relativo a los requisitos de la NC ISO 50001* (Trabajo de Diploma). Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8408/Rodr%C3%ADguez%20Navia%2C%20Edney.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética (2017). *Uso Racional y Eficiente de la Energía: Material educativo para docentes*. Ministerio de Energía y Minería, Argentina.
- Testo (2010). *Optimización de la combustión*. Recuperado de <http://www.tiemporeal.es/archivos/OptimizacionCombustion.pdf>
- Testo (2020). *Testo 310 – Analizador de gases de combustión. Manual de instrucciones*. Recuperado de <https://static-int.testo.com/media/4f/05/d4821fe99678/testo-310-Manual-de-instrucciones.pdf>
- Y. H. Song, Y. Akashi y J. J. Yee (2007). *Energy performance of a cooling plant system using the inverter chiller for industrial building*. *Energy and Buildings*. Volumen 39, Páginas 289-297.

7. ANEXOS

En este apartado de anexos, se enumerarán planillas de cálculo y otros datos relevados durante la auditoría que dan sustento al informe del trabajo. Estos elementos se mencionan en el cuerpo del informe, según la sección que corresponda.

7.1. EQUIPOS DE PROCESO

En este anexo, se muestran los principales equipos utilizados en la producción de cerveza y los principales equipos que suministran los servicios auxiliares.



Imagen 3: Bloque de cocción con una capacidad producción de 1.500 litros por lote. A la derecha, se observa la olla de maceración, en el centro la pantalla de control y a la izquierda la olla de hervor.



Imagen 4: A la derecha, se observa el pasteurizador tipo túnel con una capacidad nominal de 1.200 latas/hora. A la izquierda, se observa el tanque de agua caliente con una capacidad de 5.000 litros.



Imagen 5: A la izquierda, vista frontal de la caldera con una capacidad de 600kg/hora. A la derecha, se observa la válvula reductora de presión, y de fondo se aprecia la vista lateral de la caldera.



Imagen 6: A la izquierda, se observa el colector de distribución de vapor. A la derecha, se observa el tanque de retorno de condensado utilizado actualmente.



Imagen 7: La imagen de la izquierda muestra el intercambiador de calor utilizado para el enfriamiento del mosto. A la derecha, se observa el bloque frío, donde se ven 6 tanques de fermentación de 3.000 litros de capacidad. Además, hay otros 3 tanques de 1.500 litros que no se observan en la imagen.



Imagen 8: En esta imagen se muestra parte del sistema de refrigeración de los tanques de fermentación. A la izquierda, se observan 2 bancos de frío (chillers) con una capacidad nominal de 10 TR (toneladas de refrigeración) cada uno. A la derecha, se observa tanque de almacenamiento de agua glicolada de 1.000 litros aislado térmicamente.



Imagen 9: A la izquierda, se observa el contenedor frigorífico con una potencia nominal de 7,5HP. A la derecha, se observa la chapa característica del mismo.



Imagen 10: Instalación de compresión de aire. Se observa el compresor de aire, el tanque de almacenamiento, el secador frigorífico y el juego de filtros para acondicionamiento de aire.

7.2. FACTURACIÓN ENERGÉTICA

En esta sección, se adjunta la planilla de cálculo con toda la información acerca de la facturación de energía eléctrica y GLP. Este documento incluye el análisis de reconstrucción de potencia, de compensación de $\cos \varphi$, la regresión lineal del consumo energético vs los datos de producción y la regresión lineal del consumo energético vs los grados día de refrigeración.

Se puede encontrar en el siguiente link:

https://drive.google.com/file/d/1jbCK0zg6kTGhbcm03JpL_xYX_W0DIpup/view?usp=sharing

7.3. MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se adjuntan los datos relevados del analizador de redes eléctricas localizado en el tablero general de la fábrica. Esto permitió medir el consumo promedio mensual: 8543kWh.

Observación: se detectó que en un día de fin de semana el consumo es de 233kWh/día, un 33% menor que el consumo durante un día operativo de semana (355kWh/día). Esto valida que el uso significativo de la energía eléctrica sea la refrigeración, ya que los chillers y el contenedor frigorífico son equipos que funcionan 24 horas los 7 días de la semana, y estos representan el 75% del consumo según los resultados de la auditoría.

Para mayor detalle dirigirse al siguiente enlace:

<https://drive.google.com/file/d/1SpzLYolcmxDLMte4bzb1IEjxv29CM6T/view?usp=sharing>

7.4. RELEVAMIENTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO

Este anexo abarca el relevamiento de potencias de los equipos y sus consumos eléctricos. Estos datos permitieron confeccionar la matriz eléctrica de la fábrica. Se adjunta la planilla de cálculo correspondiente en este enlace:

<https://drive.google.com/file/d/16emxrModV0priczjL8IXsP97SJmSWDBw/view?usp=sharing>

7.5. RELEVAMIENTO DEL CONSUMO DE VAPOR

En este apartado del anexo se adjunta la siguiente información: los datos técnicos de la caldera, los cálculos de consumo de vapor, los cálculos de eficiencia por los diferentes métodos y las oportunidades de mejora encontradas en el sistema de vapor. Queda adjunto en este link:

<https://drive.google.com/file/d/1ADUav9Tf2gds8T5dOoayXv6vUzRqEOIR/view?usp=sharing>

7.6. DATOS DE PRODUCCIÓN Y GRADOS DÍA DE REFRIGERACIÓN

Los datos de producción relevados en planta y los datos extraídos de degreedays.net están adjuntos en el siguiente enlace: <https://drive.google.com/file/d/1luCkAzCUFy9s-RN0YYy6mU2rrQzKdsZc/view?usp=sharing>

7.7. RESUMEN DE AUDITORÍA

Se realizó un resumen con todos los consumos energéticos calculados, con el fin de identificar los usos significativos de la energía. En la siguiente planilla, se pueden ver los diagramas de

Pareto de los usos energéticos y de los costos asociados a estos. También, se incluyen el plan de acción propuesto y los indicadores de desempeño identificados.

<https://drive.google.com/file/d/1kiMLezsDjsVfaCj8bpozQTSMnEhYNTIR/view?usp=sharing>