Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Valparaíso - Chile

"ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA ASMAR VALPARAÍSO EN EL MARCO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADO EN LA NORMA ISO 50001"

Carlos Emilio Saavedra Cerna

Memoria de titulación para optar al título de

Ingeniero Electricista

Profesores Guías: Sr. Rodrigo Rozas Valderrama.
Sr. Víctor Hinojosa Mateus.

Correferente: Sr. Carlos Pérez Palma.

Enero 2023

"Material de referencia, la responsabilidad en su uso queda en manos de quién la emplee"

"***Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.***"

William Thomson Kelvin

Agradecimientos

Al término de este proceso, quisiera agradecer a todos quienes fueron participes de esta experiencia. En primer lugar, a toda mi familia por acompañarme en todo momento, por el apoyo incondicional durante todos estos años universitarios, por ser los primordiales promotores de mis sueños, por formarme como persona, gracias por todos los días confiar y creer en mi y mis expectativas. A todos ellos, deseo que sepan que fueron fuertes pilares en la construcción de este trabajo y que sin su amor y consejos probablemente no habría llegado a su conclusión.

En segundo lugar a mis compañeros y grandes amigos, tanto de universidad como de la vida, los que hicieron soportable este proceso de aprendizaje desde el colegio hasta la universidad.

Como también al Sr. Juan Cristóbal Méndez y la Srta. Carola Pedreros Valenzuela quienes hicieron lo posible para realizar mis prácticas industrial y profesional, además de este presente estudio. A mis ex compañeros de trabajo en ASMAR Valparaíso por las vivencias, buenos tratos y enseñanzas durante los 5 meses de práctica.

Por último, pero no por eso menos importante, a todo el equipo de apoyo académico del Departamento de Ingeniería Eléctrica y docentes (y ex docentes) con los cuales pude compartir, quienes de una u otra manera aportaron conocimiento, profesionalismo y pasión por esta temática de gran relevancia para el país.

12 de Abril 2022

A ti abuelita o como te gustaba que te dijera, Weli Weli. Perpetua Del Carmen Padilla Mella, todo mi agradecimiento y amor. Gracias por enseñarme el camino de la vida, por tus consejos, por tanto amor y cariño incondicional en mi vida. Un beso y abrazo al cielo, espero podamos reencontrarnos en la vida eterna.

Carlos Emilio Saavedra Cerna
5 de Enero de 2023

Resumen

Este estudio está basado en la elaboración de una evaluación y análisis para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía, en adelante SGE, bajo la norma ISO 50001 dentro de las instalaciones de Astilleros y Maestranzas de la Armada (en adelante ASMAR-V) planta ubicada en la región de Valparaíso. Con el fin de conseguir un ahorro de energía y una mejora del desempeño energético, así contribuir con el medioambiente y mejorar la competitividad.

Con el objetivo de incrementar la eficiencia energética de los procesos, se lleva a cabo el proceso de planificación energética propuesto por la norma ISO 50001. Conduciendo al establecimiento de objetivos concretos y alcanzables, así como a la propuesta de diversos planes de mejora en materia de ahorro y uso eficiente de energía.

Los resultados de la revisión energética muestran que el tipo de fuente energética que más se consume dentro de ASMAR-V es electricidad, seguido de gas y petróleo. Reflejando que el 62,26 % de la energía consumida corresponde al uso energético operación.

A partir de la energía auditada se definió la línea base energética analizando dos escenarios: 1) comportamiento energético años 2020-2021 por separados y, 2) comportamiento energético conjunto 2020-2021. Obteniéndose para ambos escenarios un coeficiente de determinación R^2 inferior a 0,75. Valor que se considera fuertemente representativo en la literatura bibliográfica. No obstante, de los resultados obtenidos el segundo escenario posee un R^2 de 0,65 siendo el más significativo y representativo dentro de los casos estudiados. Por tanto, este escenario será utilizado para el análisis de la línea base energética y para el cálculo de indicadores de desempeño energético. Cabe destacar que este valor de R^2 evidencia que el indicador de productividad horas hombre no es suficiente para explicar la variabilidad entre consumo energético y productividad, por lo que es recomendable estudiar otras variables a futuro.

Finalmente se sugieren trece indicadores de desempeño energético que permiten conocer el desempeño energético, posterior a la implementación de la línea base energética establecida. Como también, oportunidades de mejora enfocadas principalmente en la operación y concientización del personal de la planta. Con la intención de generar un aporte a la etapa posterior correspondiente a la aplicación del modelo de gestión de la energía según los requerimientos de la norma ISO 50001.

Abstract

This study is based on the elaboration of an evaluation and analysis for the implementation of an Energy Management System, hereinafter SGE, under the ISO 50001 Standard within the facilities of Astilleros y Maestranzas de la Armada (ASMAR) located in Valparaiso, Chile. In order to achieve energy savings and improved energy performance, thus contributing to the environment and improving competitiveness.

In order to increase the energy efficiency of the processes, the energy planning process proposed by the ISO 50001 standard is carried out. This leads to the establishment of concrete and achievable objectives, as well as the proposal of various improvement plans for energy savings and efficient use of energy.

The results of the energy review show that the type of energy source most consumed within ASMAR Valparaiso is electricity, followed by gas and oil. Showing that 62,26 % of the energy consumed corresponds to the operation energy use.

From the audited energy, the energy baseline was defined by analyzing two scenarios: 1) energy performance in years 2020-2021 separately and, 2) combined energy performance 2020-2021. For both scenarios the coefficient of determination R^2 is less than 0,75. This value is considered strongly representative in the literature. However, from the results obtained, second scenario has an R^2 of 0,65, which is the most significant and representative within the cases. Therefore, this scenario is used for the analysis of the energy baseline and energy performance indicators. It should be noted that this value of R^2 shows that the man-hour productivity indicator is not enough to explain the variability between energy consumption and productivity, hense it is advisable to study other variables in the future.

Finally, thirteen energy performance indicators are suggested that allow us to know the energy performance, after the implementation of the established energy baseline. As well as opportunities for improvement focused mainly on the operation and awareness of plant personnel. With the intention of generating a contribution to the subsequent stage corresponding to the application of the energy management model in accordance with the requirements of the ISO 50001 standard.

Índice general

Agradecimientos **III**

Resumen **IV**

Abstract **V**

Índice general **VI**

Índice de figuras **VIII**

Índice de tablas **XI**

Glosario **XIII**

Nomenclatura **XIV**

1. Introducción **1**

1.1 Revisión de la literatura . . . 1
1.2 Objetivos . . . 5
1.3 Limitaciones y alcances . . . 6
1.4 Estructura de la memoria . . . 7

2. Marco teórico **8**

2.1 Contexto energético internacional . . . 8
2.1.1 Consumo energético . . . 8
2.1.2 Desafíos energéticos . . . 10
2.1.3 Nuevas tecnologías . . . 11
2.2 Contexto energético de Chile . . . 12
2.2.1 Indicadores de consumo globales . . . 12
2.2.2 Matriz energética nacional . . . 13
2.2.3 Eficiencia energética y ERV en Chile . . . 15
2.3 Eficiencia energética . . . 15
2.3.1 Definiciones . . . 15
2.3.2 Normativas . . . 16
2.3.3 ¿Por qué norma ISO 50001? . . . 17
2.4 Norma ISO 50001 . . . 18
2.4.1 Proceso de mejora continua . . . 19
2.4.2 Requisitos de la norma ISO 50001 . . . 20
2.4.3 Requisitos a implementar de la norma ISO 50001 . . . 22
2.5 Diseño de un Sistema de Gestión de la Energía . . . 22
2.5.1 Compromiso de Alta Dirección . . . 22
2.5.2 Representantes y equipo de gestión energética . . . 22
2.5.3 Planificación del SGE . . . 23
2.6 Revisión Energética . . . 24
2.6.1 Análisis de brechas . . . 26
2.6.2 Indicadores de desempeño energético y línea base energética . . . 26
2.6.3 Fuentes de energía . . . 27
2.6.4 Caracterización de equipos . . . 28

3. Descripción de la organización **34**

3.1 ASMAR Valparaíso . . . 34

4. Metodología y desarrollo de trabajo **37**
4.1 Estudios previos . . . 38
4.1.1 Estudio de normativa . . . 38
4.1.2 Contexto organizacional . . . 38
4.2 Actividades previas al diseño de SGE . . . 38
4.2.1 Diseño de revisión energética y análisis de brechas . . . 38
4.2.2 Análisis de brechas . . . 38
4.2.3 Definición de alcance interno de la normativa y viabilidad de la certificación actual . . . 41
4.2.4 Revisión energética . . . 41
4.2.5 Identificación de principales puntos de uso ineficiente . . . 43
4.3 Diseño e implementación de requisitos del SGE . . . 43
4.3.1 Línea de base energética . . . 43
4.3.2 Indicadores de desempeño energético . . . 44

5. Resultados y análisis **45**
5.1 Revisión energética . . . 45
5.2 Diseño del Sistema de Gestión de la Energía . . . 61
5.2.1 Objetivo del SGE . . . 61
5.2.2 Alcance del SGE . . . 62
5.2.3 Responsabilidades y Política energética . . . 62
5.2.4 Planificación del SGE . . . 64
5.2.5 Línea base energética . . . 65
5.2.6 Línea base energética meta . . . 73
5.2.7 Indicadores de desempeño energético . . . 77
5.2.8 Definición de objetivos, metas y planes de acción energéticos . . . 87
5.2.9 Ejecución del SGE . . . 89
5.2.10 Verificación del SGE . . . 92
5.2.11 Actuar y etapa final del SGE . . . 95
5.3 Propuestas de mejora energética . . . 96
5.4 Implementación de paneles fotovoltaicos . . . 98
5.4.1 Capacidad energética . . . 98
5.4.2 Proyección de ahorros energéticos por el plan de acción . . . 99
5.4.3 Ahorros monetarios por concepto de energía . . . 101

6. Conclusiones y trabajos futuros **104**
6.1 Resumen final y conclusiones . . . 104
6.2 Trabajos futuros . . . 106

Bibliografía **108**

Anexos **112**

A. Organización **112**

B. Norma ISO 50001 **130**

C. Análisis de brechas **142**

D. Protocolo internacional de medida y verificación **144**

E. Línea base energética meta **150**

F. Estimación de capacidad y consumo fotovoltaico **153**

Índice de figuras

1.1 Modelo de gestión de la energía según ISO 50001 [11]. 2
1.2 Proceso de planificación energética [11]. 4

2.1 Consumo de energía primaria a nivel mundial años 1995-2020 [16]. 9
2.2 Generación eléctrica regional por combustibles año 2020 [16]. 10
2.3 Tecnologías capaces de solucionar el desafió dual [21]. 12
2.4 Volumen de energía generada por fuente [GWh] [23]. 14
2.5 Capacidad energética instalada por fuente [MW] [23]. 14
2.6 Participación por fuentes de generación años 2017-2021 [23]. 15
2.7 Resultados de gestión de energía *ad hoc* a los costos [12]. 19
2.8 Resultados de un proceso sistemático de gestión de energía [12]. 19
2.9 Ciclo de Deming planificar - hacer - verificar - actuar [10]. 20
2.10 Organigrama equipo o comité de gestión de energía [11]. 23
2.11 Metodología de revisión energética. 24
2.12 Relación entre desempeño energético, IDE, LBE y metas energéticas [15]. 27
2.13 Tipos de hidrolavadoras [31, 32]. 29
2.14 Puente grúa [33]. 30
2.15 Torno multiherramienta [34]. 30
2.16 Grupo generador 700 kVA [35]. 31
2.17 Compresor de tornillo sin aceite y con enfriamiento por aire [36]. 32
2.18 Sistema de recubrimiento HVAF [37]. 32
2.19 Sistema de corte por plasma HPR400XD [38]. 33

3.1 Fotografía de la planta industrial de ASMAR Valparaíso [39]. 34
3.2 Dirección de ASMAR [1]. 36

4.1 Esquema de metodología y plan de trabajo. 37

5.1 Consumo energético anual de electricidad ASMAR Valparaíso. 47
5.2 Consumo energético total anual por tipo de fuente energética. 49
5.3 Consumo energético total anual por uso energético. 50
5.4 Diagrama de Pareto por tipo de fuente energética. 51
5.5 Diagrama de Pareto para uso energético. 52
5.6 Consumo energético para el área de mantención. 53
5.7 Consumo energético para el área de habitabilidad. 54
5.8 Consumo energético para el área de cocina y comedores. 54
5.9 Consumo energético para el edificio administrativo. 55
5.10 Consumo energético para el taller de mecánica. 55
5.11 Consumo energético para el taller de estructuras. 56
5.12 Consumo energético para el taller de electricidad y electrónica. 56
5.13 Consumo energético para el taller de combustión interna y movilización. 57
5.14 Consumo energético para taller de cañerías y soldaduras. 57
5.15 Consumo energético para taller de carpintería. 58
5.16 Consumo energético para taller de botes PUMAR. 58
5.17 Consumo energético para taller de pinturas y granallado. 59
5.18 Regresión lineal consumo energético vs HH 2020 y 2021. 67
5.19 Regresión lineal consumo energético vs HH para años 2020-2021. 70
5.20 Regresión lineal consumo energético vs HH sin filtrado. 71
5.21 Regresión lineal consumo energético vs HH filtrado. 71

5.22 Regresión lineal del comportamiento de las operaciones por debajo de la línea base con respecto al total. 75
5.23 Índice de consumo IC ASMAR Valparaíso. 77
5.24 Cambio de pendiente de IC con la producción ASMAR Valparaíso. 78
5.25 Tasa de producción de quiebre entre alto y bajo IC ASMAR Valparaíso. 78
5.26 Indicador de desempeño energético base 100. 80
5.27 Indicador de tendencia de desempeño energético CUSUM. 81
5.28 Indicador de consumo energético mensual de electricidad por trabajador real versus meta 82
5.29 Indicador de consumo energético estimado por fuente energética versus meta . . . 83
5.30 Indicador de consumo energético anual por superficie versus meta 84
5.31 Indicador de consumo energético de iluminación por trabajador versus meta . . . 85
5.32 Esquema de resultados de un contrato de desempeño energético con una ESCO [41]. 98
5.33 Estimación de la capacidad del sistema fotovoltaico proyectado para ASMAR Valparaíso. 99
5.34 Proyección de la capacidad diaria del sistema fotovoltaico para ASMAR Valparaíso. 99
5.35 Variación de radiación directa y difusa en un horizonte de 12 años. 100
5.36 Frecuencia de nubosidad en zona geográfica de estudio. 100
5.37 Proyección de la capacidad anual del sistema fotovoltaico para ASMAR Valparaíso. 101
5.38 Costos declarados de proyectos llave en mano por rango de potencia 2020 en CLP, sin IVA [30]. 101
5.39 Distribución de costos de proyectos fotovoltaicos llave en mano por rangos de potencia 2020 [30]. 102
5.40 Estimación de generación mensual del sistema fotovoltaico proyectado para ASMAR Valparaíso (kWh). 102

A.1 Ubicación geográfica de la planta industrial ASMAR Valparaíso. 113
A.2 Organigrama de la Dirección de ASMAR, cambio de mando diciembre 2021. . . . 114
A.3 HH reales ejecutadas en el año 2020. 118
A.4 HH reales ejecutadas y HH esperadas ejecutar en el año 2021. 119
A.5 Personal ASMAR Valparaiso años 2020-2021. 120
A.6 Diagrama unilineal planta ASMAR Valparaíso 2021. 121
A.7 Consumo energético para taller de mantención por uso energético. 122
A.8 Consumo energético para área de habitabilidad por uso energético. 122
A.9 Consumo energético para área de cocinas y comedores por uso energético. 122
A.10 Consumo energético para edificio administrativo por uso energético. 123
A.11 Consumo energético para taller de mecánica por uso energético. 123
A.12 Consumo energético para taller de estructuras metálicas por uso energético. . . . 123
A.13 Consumo energético para taller de electricidad y electrónica por uso energético. . 123
A.14 Consumo energético para taller de combustión interna y movilización por uso energético. 124
A.15 Consumo energético para taller de cañerías y soldaduras por uso energético. . . . 124
A.16 Consumo energético para taller de carpintería por uso energético. 124
A.17 Consumo energético para taller de botes PUMAR por uso energético. 125
A.18 Consumo energético para taller de pinturas y granillado por uso energético. . . . 125
A.19 Indicador de desempeño energético de consumo eléctrico por superficie año 2021. 128
A.20 Indicador de desempeño energético de iluminación por trabajador año 2021. . . . 128
A.21 Indicador de desempeño energético de consumo eléctrico por trabajador año 2021. 129

E.1 Datos necesarios para el desarrollo de la línea base energética meta. 152
E.2 Potencial de ahorro de acuerdo con la linea base meta(kWh). 152

F.1 Resumen de radiación e información meteorológica del sitio geográfico. 153
F.2 Coordenadas del estacionamiento de ASMAR-V. 154
F.3 Elección del modelo de generación y estimación de capacidad instalada fotovoltaica. 154
F.4 Estimación de capacidad mediante el área disponible para instalar paneles fotovoltaicos en ASMAR-V. 155
F.5 Características de la instalación y pérdidas. 155
F.6 Principales factores operativos y estimación de generación solar mensual (kWh). . 156

Índice de tablas

2.1 Volumen de energía generada y capacidad energética instalada por fuentes [23]. . 13
2.2 Normas de gestión energética en diversos países del mundo a lo largo del tiempo [27]. 17
2.3 Requisitos definidos por la norma ISO 50001:2018 [10, 11]. 21

4.1 Criterio aplicado en la evaluación de los requisitos de la norma [11]. 39
4.2 Brechas identificadas en la planta de ASMAR Valparaíso [11]. 39
4.3 Evaluación de brechas en planta ASMAR Valparaíso. 40
4.4 Resumen modelo de revisión energética. 42

5.1 Datos de identificación auditoría. 46
5.2 Personas responsables de la auditoría. 46
5.3 Datos de facturación eléctrica y horas hombre utilizadas en producción. 47
5.4 Tipología considerada para la clasificación de equipamiento en el inventario. . . . 48
5.5 Resumen balance energético. 49
5.6 Propuesta de indicadores iniciales de desempeño energético globales de la planta ASMAR Valparaíso. 50
5.7 Tamaño de la muestra de datos mínima. 65
5.8 Ajuste de la estimación inicial del tamaño de muestra. 66
5.9 Verificación de cv de los datos tomados. 67
5.10 Determinación del modelo de LBE y nivel de significación respecto variable independiente. 67
5.11 Resumen estadística descriptiva de la regresión lineal. 68
5.12 Determinación precisión absoluta del modelo. 68
5.13 Determinación precisión relativa del modelo en porcentaje. 68
5.14 Resumen de atributos del modelo de LBE para el escenario uno. 69
5.15 Tamaño de la muestra de datos mínima. 69
5.16 Ajuste de la estimación inicial del tamaño de muestra. 69
5.17 Verificación de cv de los datos tomados. 70
5.18 Determinación del modelo de LBE y nivel de significación respecto variable independiente. 72
5.19 Resumen estadística descriptiva de la regresión lineal. 72
5.20 Determinación precisión absoluta del modelo. 72
5.21 Determinación precisión relativa del modelo en porcentaje. 73
5.22 Resumen de atributos del modelo de LBE para escenario dos. 73
5.23 Datos de consumo energético por debajo de la LBE para analisis de LBE meta. . 74
5.24 Resumen de atributos del modelo de LBE meta. 74
5.25 Resumen de atributos del análisis de diferencias entre los modelos O_t y M_o . . . 76
5.26 Indicador de porcentaje de consumo energético por área. 85
5.27 Plan de acción para implementación de nuevos equipos de climatización en ASMAR. 89
5.28 Clasificación de medidas de eficiencia energética [11]. 96
5.29 Medidas de eficiencia energética propuestas para la planta ASMAR Valparaíso. . 97
5.30 Parámetros para evaluación económica de instalación de generación fotovoltaica en ASMAR-V. 103
5.31 Plan de acción para instalación de paneles fotovoltaicos con almacenamiento en ASMAR-V. 103

A.1 Tabla resumen de datos correspondiente a índice de consumo e indicador base 100. 126
A.2 Tabla cálculo cambio de pendiente para el índice de consumo. 126
A.3 Tabla cálculo de indicador de tendencia de desempeño energético CUSUM. 127

A.4 Tabla cálculo de indicador de consumo energético por trabajador. 127

D.1 Tabla modelo para realizar procedimiento de filtrado de datos. 148
D.2 Tabla filtrado de datos. 149

Glosario

Ahorro de energía: reducción del consumo de energía, determinada mediante medición y/o estimación del consumo antes y después de la aplicación de una o más medidas de mejora de eficiencia energética.
Consumo energético: cantidad de energía aplicada en una labor o acción humana (en Joule, kiloWatt-hora, unidades térmicas, mtoe (Tonelada equivalente de petróleo), etc).
Desempeño energético: resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, uso y consumo de energía.
Eficiencia energética: lograr un mismo resultado consumiendo menos energía, sin disminuir la calidad de vida o calidad de los productos o servicios entregados.
Energía primaria: la energía es llamada primaria antes de cualquier transformación. Es por ejemplo, el caso del petróleo bruto, el carbón o la luz solar.
Energía secundaria: corresponde al producto de la transformación de energía primaria para ser utilizada por el consumidor. Ejemplos son la electricidad, gasolina, el diésel, etc.
Equipo de gestión de la energía: persona(s) responsable(s) de la implementación efectiva de las actividades del Sistema de Gestión de la Energía y para la entrega de mejoras de desempeño energético.
Indicador de desempeño energético: valor cuantitativo o medida del desempeño energético así definido por la organización.
Intensidad energética: forma en que se mide la eficiencia energética. Es el resultado de la relación entre el consumo de energía y un indicador macroeconómico. A nivel país, es común relacionar la cantidad de energía que se requiere consumir para generar el producto interno bruto (PIB).
Línea base energética: referencia(s) cuantitativa(s) que proporciona(n) una base para la comparación del desempeño energético.
Medida de eficiencia energética: acciones o iniciativas que se llevan a cabo para disminuir el consumo de energía de una instalación o parte de ella.
Meta energética: aplicable a la organización o a partes de ella, que surge del objetivo energético y que necesita ser establecido y cumplido a fin de alcanzar este objetivo.
Política energética: declaración de la organización de sus intenciones globales y de la dirección de una organización, relativa a su desempeño energético tal como se expresan formalmente por la Alta Dirección.
Rendimiento energético: es el cociente entre la energía útil y la energía suministrada o consumida por una máquina o proceso.
Revisión energética: se entiende como revisión energética a un estudio del consumo energético dentro de la organización, evaluando los puntos de mayor consumo y las posibles mejoras a implementar.
Sistema de Gestión de la Energía: de acuerdo a la norma Chilena NCh-ISO 50001, son un conjunto de actividades y procesos destinados a mejorar el desempeño energético de una organización, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo de la energía.
Usos significativos de energía: uso de energía calculada para el consumo sustancial de la energía y/o que ofrece considerable potencial para mejorar el desempeño energético.
Variable independiente: parámetro que se sabe que cambiará en el tiempo y del cual depende el consumo energético de un equipo o instalación.

Nomenclatura

La siguiente lista describe varios símbolos y abreviaciones que se utilizarán dentro del cuerpo del documento.

AChEE	:	Agencia Chilena de Eficiencia Energética.
ASMAR	:	Astilleros y Maestranzas de la Armada de Chile.
$c\nu$	:	coeficiente de varianza.
R^2	:	coeficiente de determinación.
E_t	:	consumo energético estimado.
E_r	:	consumo energético real.
CEAE	:	consumo energético anual estimado.
CEI	:	Comunidad de Estados Independientes.
CCGE	:	consumidores con capacidad de gestión de energía.
CO_2	:	dióxido de carbono.
E_f	:	eficiencia energética.
ERV	:	energías renovables variables.
ESCO	:	energy service companies (empresa de servicios energéticos).
n_0	:	estimación inicial del tamaño de muestra necesario.
F_c	:	factor de carga.
GLP	:	gas licuado de petróleo.
GEI	:	gases de efecto invernadero.
HH	:	horas hombre.
IC	:	índice de consumo.
IDE	:	indicadores de desempeño energético.
IB100	:	indicador base 100.
IE	:	indicador de intensidad energética.
IA	:	inteligencia artificial.
ISO	:	International Organization for Standardization.
LBE	:	línea base energética.
MEE	:	medida de eficiencia energética.
α	:	nivel de significancia.
$1-\alpha$	:	nivel de confianza o seguridad.
e	:	nivel deseado de precisión.
NCh	:	norma Chilena.
PIB	:	producto interno bruto.
R_T	:	régimen de trabajo.
SGE	:	sistema de gestión de la energía.
CUSUM	:	indicador de tendencia o sumas acumulativas.
Tcal	:	teracalorias.
UF	:	unidad de fomento.
kW	:	unidad para cuantificar potencia eléctrica, kilowatt.
kWh	:	unidad utilizada para medir el consumo de energía, kilowatt hora.
USE	:	usos significativos de la energía.
p	:	valores poblacionales de la proporción buscada.
N	:	valor total de la población con que se cuenta.
z	:	valor de la distribución normal estándar.

Capítulo 1

Introducción

Sección 1.1

Revisión de la literatura

Arsenales de Marina nace en 1895, siendo una de las empresas de la industria naval más antigua de América Latina. En abril de 1960, se crea Astilleros y Maestranzas de la Armada de Chile, más conocido como ASMAR. Una empresa estratégica de la Defensa del Estado de Chile de administración autónoma, tiene como actividad principal el efectuar el mantenimiento y la reparación de las unidades navales de la Armada de Chile y, embarcaciones nacionales y extranjeras. Asimismo, construye naves y artefactos navales para la Marina y terceros.

Es la empresa de reparación y construcción naval más grande e importante de Chile, y posee tres instalaciones principales ubicadas en Valparaíso, Talcahuano y Punta Arenas. Su principal astillero se ubica en la región del Biobío al interior de la base naval de Talcahuano, mientras que su dirección Corporativa se encuentra en Valparaíso [1].

ASMAR se encuentra certificado por las siguientes normas de gestión: [1]

- ISO 9001: determina los requisitos para los Sistemas de Gestión de Calidad de organizaciones públicas y privadas, independiente de su tamaño o actividad empresarial.
- ISO 14001: permite a las empresas demostrar el compromiso asumido con la protección del medioambiente a través de la gestión ambiental.
- ISO 45001 (OHSAS 18001): permite la implementación de un sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo.

En base al estudio de calidad de energía realizado en Agosto del 2020 [4], se encontraron varias falencias que presenta la planta, como por ejemplo, no existe un catastro del consumo de energía, caracterización de la demanda, sistema de gestión de la energía, entre otros. Por lo que ASMAR requiere de soluciones para las problemáticas presentadas.

Para satisfacer estas necesidades, existen medidas de eficiencia energética (mejoras operacionales, recambios tecnológicos, cambio cultural), que corresponden a acciones destinadas a optimizar el uso de los recursos energéticos utilizados en la organización, permitiendo incrementar el rendimiento energético de los procesos. Es decir, maximizar la relación entre los productos o servicios finales obtenidos y la cantidad de energía utilizada en su producción [2, 3].

El 13 de febrero del 2021, se publicó en el Diario Oficial la Ley de Eficiencia Energética N° 21.305 (en adelante la Ley), cuyo objetivo es promover el uso racional y eficiente de los recursos energéticos. Se debe agregar que la eficiencia energética es la forma más segura, económica y sustentable de cubrir nuestras necesidades energéticas las que, en países en desarrollo como el nuestro, son cada vez mayores. Según estimaciones del Ministerio de Energía [6] la implementación de esta Ley permitirá al 2030 tener una reducción de la intensidad energética del 15 %, un ahorro acumulado del orden de $ 20 mil millones de dólares, y una reducción de aproximadamente 44 millones de toneladas de CO_2 acumulados.

Entre los contenidos de la Ley se encuentra el promover la gestión de la energía en los grandes consumidores del país. Esto con la finalidad de fomentar y eliminar barreras a la eficiencia energética, y así aumentar la competitividad y productividad de las empresas del país. Bajo este contexto, la Ley en su artículo 2º establece de forma general, la obligación para las grandes

empresas (con ventas sobre 1.000.000 UF/año) y/o aquellas con consumos mayores de 50 Tcal, definidos como consumidores con capacidad de gestión de energía (en adelante CCGE), de reportar sus consumos de energía e intensidad energética durante los próximos cuatro años, y de realizar una gestión activa de su energía implementando y manteniendo el/los SGE [7, 8].

Los SGE deberán contar, a lo menos con: una política energética interna; objetivos, metas, planes de acción e indicadores de desempeño energético; un gestor energético; control operacional, medición y verificación. Todo esto de acuerdo con los requisitos, plazos y forma que señale el reglamento.

Como solución y mejora continua para una organización que tiene como objetivo aumentar la eficiencia energética, mejorar el desempeño energético y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se recomienda realizar una planificación en gestión energética según la norma ISO 50001, la cual establece los requisitos que se deben cumplir.

Esta norma tiene especial relevancia para las organizaciones de todo el mundo, porque reúnen las buenas prácticas de gestión requeridas por las instituciones manufactureras, comerciales y de servicios para cumplir con los requerimientos de las partes interesadas, prevenir riesgos y tener un enfoque estratégico hacia la generación integral, eficiencia energética y éxito sostenible [9–12].

Al igual que las otras normas de sistemas de gestión (ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001), la norma ISO 50001 se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo. Adoptando un enfoque sistemático de gestion de la energia basado en el ciclo de Deming PDCA (plan, do, check, act) y sus siglas en español PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar) [11,12], estableciéndose requisitos para cada una de estas etapas como se muestra en la Figura 1.1.

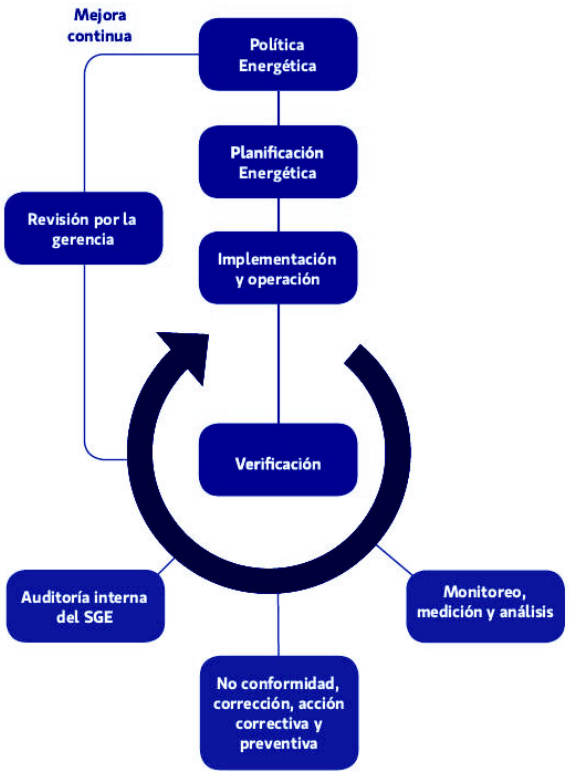


Figura 1.1: Modelo de gestión de la energía según ISO 50001 [11].

Un problema habitual cuando se habla de gestión de energía es la escasez de información sobre los indicadores de desempeño energético (Key Performance Indicators, KPIs, como su sigla en inglés), en adelante IDE. Información que sería útil para que una industria evaluara si sus índices de eficiencia energética están dentro de los rangos habituales en su sector. La identificación de indicadores de desempeño energético, y de sus valores medios y óptimos, es un problema habitual en todo tipo de instalaciones [13,14]. En algunos casos la información existente es antigua, muy escasa o simplemente no existe. Sumado a los IDE, es necesario disponer de una línea base energética (en adelante LBE), la cual representa el comportamiento energético actual y de referencia al momento de implementar el SGE. Así mismo es una referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético [11, 12].

A su vez, la eficiencia energética se puede lograr mediante mejoras operacionales a través de:

- Gestión de actividades y la optimización de los recursos disponibles;
- Inversión en tecnologías más eficientes;
- Gestionando la energía; y
- Cambios en los hábitos de consumo.

Sin embargo, existen barreras que nos imposibilitan a realizar lo antes mencionado, debido a la falta de conocimiento en cómo se utiliza y se consume la energía al interior de la organización. Otro rasgo para tener en cuenta es la visión centrada en la inversión inicial al momento de comprar productos y/o servicios y no en los costos de operación durante su vida útil o foco productivo. Se debe agregar que no se hace seguimiento en el tiempo a medidas de mejoras operacionales realizadas, ya que no existe una búsqueda sistemática de las oportunidades en mejora de la eficiencia energética.

Por lo que, los SGE nos permiten abordar las problemáticas energéticas en la organización desde el punto de vista de [14]:

- Levantamiento de información sobre características energética de la organización;
- Indicadores de desempeño energético y línea base energética;
- Monitoreo continuo y seguimiento de consumos;
- Aumento de competitividad a través del mejoramiento continuo; e
- Incorporación de nuevas iniciativas asociadas al uso eficiente de la energía.

La Figura 1.2 muestra el concepto de planificación energética a grandes rasgos que se debe desarrollar. Se abarca desde la información de entrada, es decir, el levantamiento de los antecedentes energéticos de la organización y variables relevantes que afectan el uso y desempeño energético. Hasta los resultados medibles de la planificación, ambos ejecutables por medio de la revisión energética que debe realizar el equipo de gestión de energía.

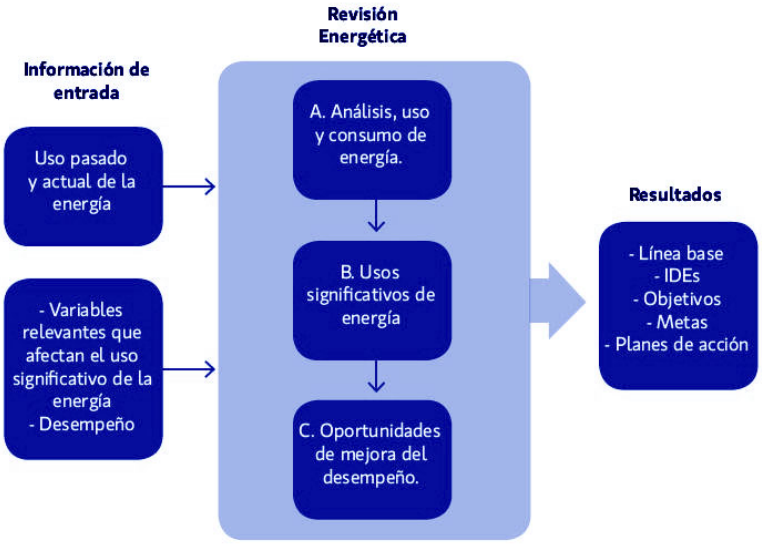


Figura 1.2: Proceso de planificación energética [11].

La implementación de un proceso de planificación de eficiencia energética, en particular la aplicación del capítulo 6. Planificación de la norma ISO 50001 [10], en conjunto con la recopilación de datos históricos energéticos (facilitados por la organización, información pública disponible en su sitio web y las distintas visitas que se realizarán a la planta). Permitirá conocer el comportamiento energético actual, mediante la realización de una revisión energética con la finalidad de establecer IDE y LBE los cuales, actuarán de referencia al momento de implementar el SGE u oportunidades de mejora representando herramientas futuras para la toma de decisiones.

Dicho esto, se busca la preparación de ASMAR-V para el cumplimiento requerido desde el Ministerio de Energía para grandes empresas basado en la Ley N.º 21.305 en su artículo 2º, y encaminar una futura certificación en eficiencia energética mediante la norma ISO 50001.

Más aún, se espera que la organización sea consciente de su consumo de energía, demuestre su compromiso con la reducción del consumo energético, tome conciencia de las medidas necesarias para reducir costes energéticos pudiendo así generar nuevos mercados y empleos, como también la reducción de emisiones de CO_2. Finalmente establecer una mejora continua en base a la eficiencia energética.

Sección 1.2

Objetivos

Los objetivos principales de esta memoria son los siguientes:

Objetivo general:

Evaluar y presentar medidas de eficiencia energética en el consumo eléctrico para la empresa ASMAR-V estableciendo indicadores de desempeño y línea base energética basados en la norma ISO 50001 de eficiencia energética

Objetivos específicos:

1. Realizar un levantamiento del perfil energético de los procesos, consumos y usos energéticos de la planta ASMAR-V.
2. Establecer una línea base energética (LBE) que permita conocer la situación actual del perfil energético de ASMAR-V.
3. Proponer indicadores de desempeño energético (IDE), que permitan realizar una verificación y control de las medidas energéticas.
4. Proponer opciones de mejora energética con la finalidad de contribuir en la mejora de productividad y competitividad económica.

Sección 1.3

Limitaciones y alcances

Este estudio no tiene como propósito buscar una certificación, sino que llevar a cabo acotadamente una planificación energética, definir su línea base energética e indicadores de desempeño energético según los estándares establecidos en la norma ISO 50001. De modo que permita conocer el comportamiento energético actual, y actué como referencia al momento de implementar un SGE y/u oportunidades de mejora, cuantificando los impactos que esto traerá al desempeño energético.

Es por esto que se establecen limitaciones y alcances de la investigación a continuación:

1. La principal limitante de este estudio va en la implementación del capítulo 6. Planificación (véase Anexo B.3), dando énfasis en los puntos 6.3 Revisión energética, 6.4 Línea base energética y 6.5 Indicadores de desempeño energético, establecidos en la normativa ISO 50001 [10].
2. Los alcances físicos se limitan al consumo total de la planta industrial ASMAR-V durante los años 2020-2021.
3. La información utilizada se limita a la disponibilidad y detalles proporcionados por la empresa, también de información pública disponible en el sitio web de la empresa, considerando un período de tiempo entre enero del año 2020 y octubre del año 2021.

Sección 1.4

Estructura de la memoria

Esta Sección tiene por objetivo presentar un breve resumen de las partes principales que constituyen la presente memoria de titulación.

Capítulo 2 "**Marco teórico**": se basa en la teoría fundamental para la realización de la memoria, establece los conceptos que se utilizan en la elaboración de esta. Desde el contexto internacional hasta el contexto nacional, incluyendo los aspectos tecnológico, social y organizacional. Finalizando con los detalles asociados a la aplicación de los requisitos medulares de la norma ISO 50001 de eficiencia energética en la planta ASMAR-V.

Capítulo 3 "**Descripción de la organización**": se contextualiza la empresa en la cual se desarrollara este estudio y memoria de titulación.

Capítulo 4 "**Metodología y desarrollo de trabajo**": se establece el marco de trabajo práctico y sistemático a partir de la información recopilada mediante reuniones con encargados, visitas a terreno y estudios previos de normativa y contexto organizacional. Su finalidad es generar un plan de diseño del sistema de gestión de la energía.

Capítulo 5 "**Resultados y análisis**": se detallan los resultados obtenidos en la revisión energética, que aborda los usos significativos de energía y oportunidades de mejora energética, seguidamente se desarrolla el modelo matemático de línea base energética y cálculo de indicadores de desempeño energético que servirán a futuro como punto de partida. Dentro de este mismo capítulo se aborda la linea base energética meta y las propuestas de mejora, analizándose técnicamente la implementación de un sistema de generación fotovoltaica.

Capítulo 6 "**Conclusiones y trabajos futuros**": se presenta el resumen de las conclusiones obtenidas en el desarrollo de la memoria. Finalmente, se dan a conocer las problemáticas/limitaciones encontradas en el desarrollo de esta memoria y desafíos futuros.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se presentan los antecedentes teóricos de contexto tecnológico, social, organizacional y el marco teórico que están relacionados con este estudio. Estos permiten comprender de manera más profunda su justificación, pertinencia en la organización bajo estudio y sus fundamentos técnicos.

La información presentada en el contexto y en el marco teórico se encuentra ordenada de lo más general a lo más particular.

Este capítulo ha sido desarrollado mediante el uso de bibliografía, Estudio de calidad de energía [4], normativa ISO 50001 y 50006 [10, 15], requerimientos del Ministerio de Energía para CCGE [7, 8] e información facilitada por la organización junto con la información pública disponible en su sitio web [1].

Antes de comenzar, para facilitar la lectura de esta Sección, se recomienda revisar los apartados Glosario y Nomenclatura.

Sección 2.1

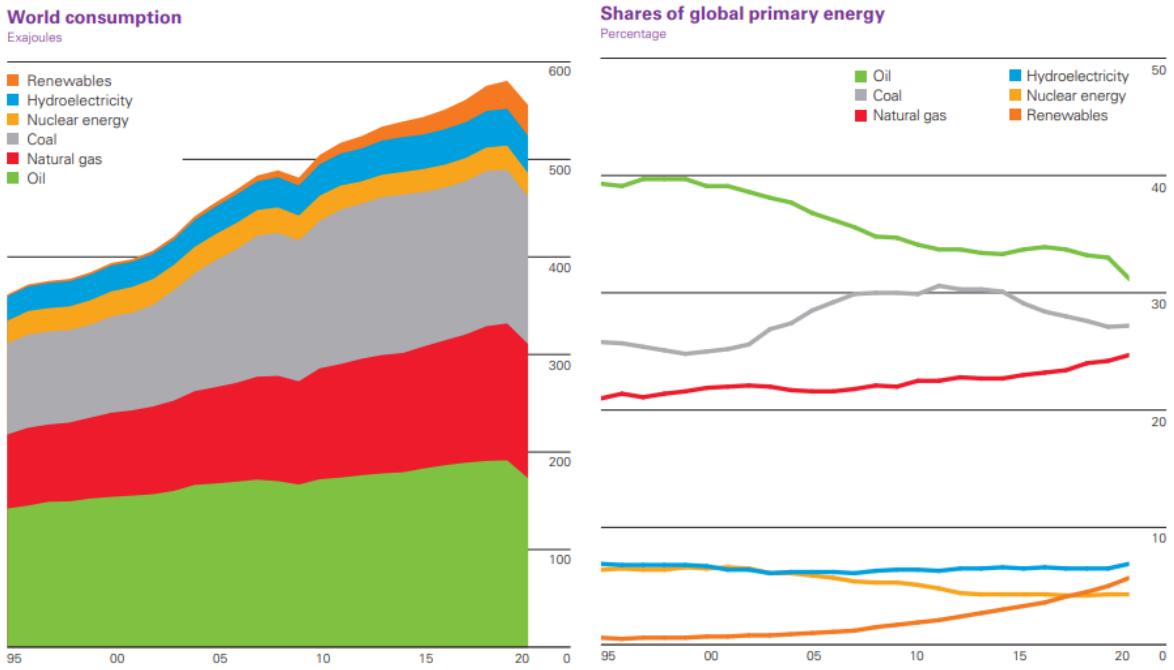
Contexto energético internacional

2.1.1. Consumo energético

El informe BP Statistical Review of World Energy 2021 [16] detalla el contexto energético mundial resumiéndose el consumo de energía primaria en la Figura 2.1 y Figura 2.2, donde el consumo mundial de energía primaria disminuyó un 4,5 % en 2020. Esta es la primera caída en consumo de energía desde el año 2009. Esta disminución estuvo impulsada en gran medida por el petróleo (-9,7 %), que representó casi las tres cuartas partes de la disminución. El consumo de todos los combustibles fósiles disminuyó, exceptuando los renovables (+9,7 %) y los hídricos (+1,0 %). El consumo cayó en todas las regiones, con las mayores caídas presentadas en América del Norte (-8,0 %) y Europa (-7,8 %). El descenso más bajo se registró en Asia-Pacífico (-1,6 %) debido al crecimiento en China (+2,1 %), el único gran país donde el consumo de energía aumento en 2020. En el resto de regiones, la caída del consumo osciló entre -7,8 % en América del Sur y Central a -3,1 % en el Medio Oriente.

A partir de la Figura 2.1(a) se desprende que el petróleo sigue manteniendo la mayor parte de la matriz energética mundial con 31,2 %. El carbón es el segundo combustible de mayor utilización en 2020, representando el 27,2 % del uso de energía primaria total, un ligero aumento desde 27,1 % del año anterior. La cuota tanto del gas natural como de las energías renovables subió a máximos históricos de 24,7 % y 5,7 %, respectivamente. Por otro lado a partir de la Figura 2.1(b) se aprecia la tendencia a la disminución de consumo de energía primaria por parte de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, no obstante el consumo de gas natural sigue al alza.

Las energías renovables ahora han superado a la energía nuclear, que representa solo el 4,3 % de la matriz energética mundial. La participación de la energía hidroeléctrica aumentó en un 0,4 % en comparación al año anterior llegando a 6,9 %. El primer aumento desde 2014 (para mayor detalle revisar informe BP 2021.)



(a) Tendencia mundial de consumo de energía primaria. (b) Tendencia mundial porcentual de consumo de energía primaria.

Figura 2.1: Consumo de energía primaria a nivel mundial años 1995-2020 [16].

De acuerdo a la información expuesta en la Figura 2.2, el gas natural es el combustible dominante utilizado para la generación de energía en América del Norte, la Comunidad de Estados Independientes, Medio Oriente y África. Más de la mitad de la energía generada en América del Sur y Central es de origen hídrico, mientras que en Asia el carbón comprende el 57 % de la generación, una proporción mucho más alta que cualquier otra región.

En cuanto a Europa, las energías renovables incluyendo biomasa son las mayores fuentes de generación de energía con un 23,8 % por primera vez, superando a la energía nuclear con un 21,6 %. La generación en Europa se reparte de manera bastante uniforme entre renovables, nuclear, gas natural (19,6 %) e hidro (16,9 %).

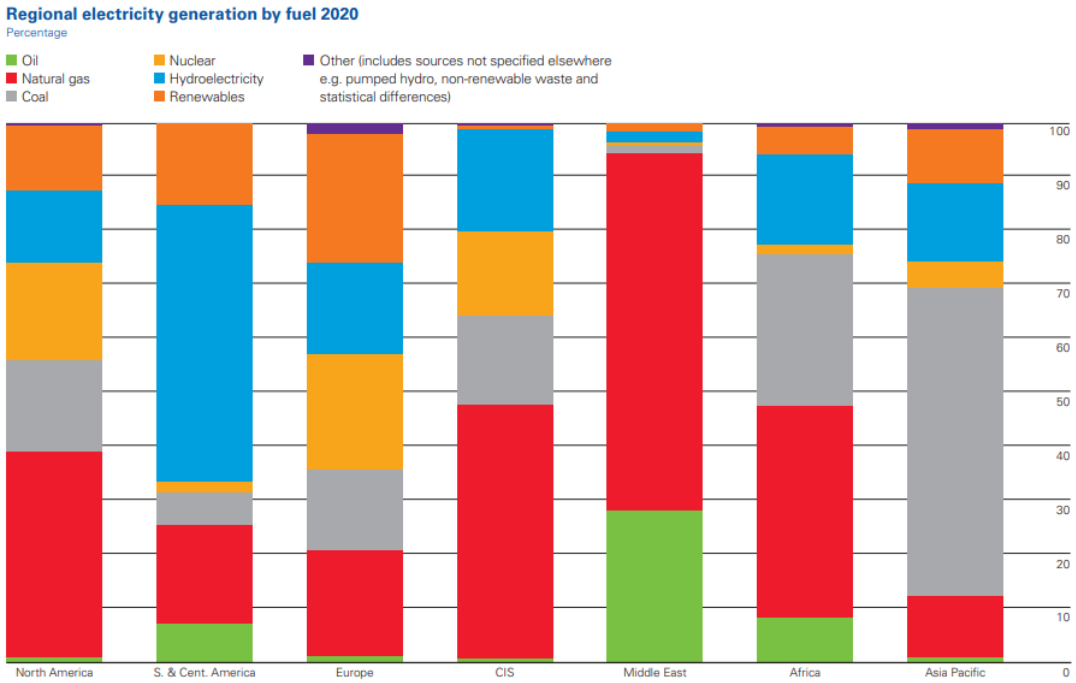


Figura 2.2: Generación eléctrica regional por combustibles año 2020 [16].

2.1.2. Desafíos energéticos

En medio de este desarrollo a nivel de consumo energético y tecnológico, la humanidad se enfrenta, paralelamente, a una crisis respecto del consumo y generación de la energía a nivel planetario. Este paradigma es conocido como desafió dual, el cual consiste en satisfacer la creciente demanda de energía y reducir los gases de efecto invernadero, en adelante GEI.

Los principales desafíos a resolver en crisis son los siguientes:

- Crecimiento de necesidades energéticas;
- Agotamiento de los combustibles fósiles;
- Aumento de las emisiones y contaminación atmosférica; y
- Acumulación de GEI, principales causantes del cambio climático.

El desafío que más preocupación internacional genera es el cambio climático, debido a las diferentes amenazas que esta situación genera para la humanidad de no llegar a ser mitigadas a nivel tecnológico, educativo, político y social. Dentro de estas amenazas se encuentran [17, 18]:

a) Deshielos de los polos y aumento del nivel del mar;

b) Condiciones meteorológicas extremas y aumentos de las precipitaciones en zonas atípicas;

c) Peligro económico para las actividades industriales que dependen de recursos naturales;

d) Riesgo de extinción de diversas especies floras y faunas.

Las concentraciones de GEI se encuentran en su nivel más elevado en dos millones de años y las emisiones siguen aumentando. Como resultado, la temperatura de la Tierra es ahora 1,1 °C más elevada que a finales del siglo XIX. La última década (2011-2020) fue la más cálida registrada [19].

Durante la última conferencia de las Naciones Unidas contra el cambio climático, en adelante COP26 [20], uno de los hitos más importantes fue el reconocimiento de la emergencia. Los países reafirmaron el objetivo del pacto de París de limitar el incremento de la temperatura media mundial a 2 °C por encima del nivel preindustrial y esforzarse por no superar los 1,5 °C. Por otra parte, expresaron la "alarma y máxima preocupación en relación con las actividades humanas que han provocado un incremento de 1,1 °C en las temperaturas hasta la fecha, los efectos del cual ya se aprecian en todas las regiones, y con que los presupuestos de carbono actuales destinados a alcanzar el objetivo de temperatura del pacto de París son poco ambiciosos y se exceden rápidamente". Reconocieron que la repercusión del cambio climático será mucho menor con un incremento de la temperatura de 1,5 °C que de 2 °C.

La COP26 dejó un claro mensaje para la sociedad, los hábitos domésticos, los sistemas productivos, el levantamiento de soluciones, las investigaciones y aplicaciones en la industria deben incluir (a la hora de planificar sus acciones, ejecutarlas y verificar sus resultados) aspectos que tengan como objetivo reducir las emisiones de GEI.

2.1.3. Nuevas tecnologías

Según el reporte BP Technology Outlook 2018 [21], se plantean cinco tecnologías que serían capaces de dar solución al desafío dual mostradas en la Figura 2.3:

1) Energías renovables variables: las energías renovables en adelante ERV, en particular solar y eólica, se vuelven cada vez más competitivas, llegando a ser las fuentes de energía más baratas alrededor del año 2050.

2) Digitalización de procesos: la transformación digital (que incluye en su mayoría los procesos relacionados con la implantación de sistemas ciberfísicos) es capaz de alcanzar nuevos tipos y niveles de eficiencia energética, algunos ejemplos van desde smart grids y moduladores de demanda energética hasta vehículos que se conducen solos y que optimicen su consumo de energía.

3) Eficiencia energética: corresponde a la reducción del consumo energético sin disminuir la calidad del servicio o producto entregado. El reporte postula que los sistemas y proyectos (incluyendo el SGE) pueden reducir hasta en 40 % del consumo de energía primaria en el mundo.

4) Almacenamiento de energía: el almacenamiento y transporte de energía es de suma importancia en un escenario de desabastecimiento energético. Por lo que, el desarrollo de las mismas en estado sólido o en ión-litio se vislumbran como grandes aportes a la solución del desafío dual.

5) Gas decarbonizado: existen aplicaciones para reducir las emisiones producidas durante el proceso de combustión. Siendo estas menores que las evitadas al dejar el material orgánico se degrade de forma natural. Sin embargo, no es competitivo ni comercial hoy en día. Algunos de estos combustibles descarbonizados se encuentran en forma de gas como metano sintético o en forma líquida como queroseno, gasolina o diesél sintético.

Además, es importante establecer que el reporte BP destaca el rol de la Inteligencia Artificial (IA) en el aumento de la eficiencia de sistemas consumidores de energía, destacando que los sistemas energéticos se están convirtiendo en sistemas cada vez más inteligentes con una tecnología de desarrollo más completa. Sistemas que pueden ser optimizados, monitoreados y controlados usando software inteligente. Tanto machine learning, vehículos eléctricos como blockchain ya son una realidad y son parte de los grandes cambios tecnológicos de la década.

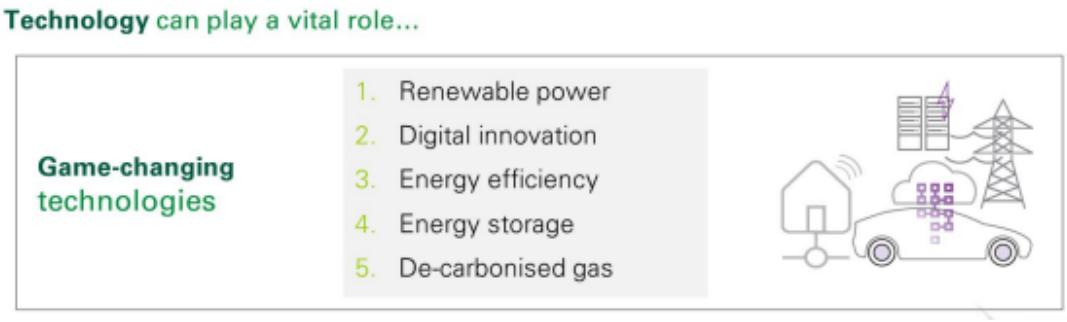


Figura 2.3: Tecnologías capaces de solucionar el desafió dual [21].

En resumen a nivel mundial se viene trazando un camino hacia la transición energética, en donde se han definido objetivos y metas ambiciosas. Una de ellas es la carbono neutralidad en la segunda mitad de este siglo. Sin embargo, el propósito principal de esta transición es poder limitar el cambio climático.

Todos sabemos de la importancia de actuar contra el cambio climático y la necesidad de reducción del consumo de combustibles fósiles. Cinco son las tecnologías capaces de superar este reto, dentro de ellas las energías renovables variables. Pero hay otro instrumento muy importante que es la eficiencia energética. Además, el uso eficiente de la energía es un aspecto importante para la competitividad de la economía, dada la fuerte dependencia de las importaciones. La creciente demanda mundial de energía y los riesgos de suministro conexos son otros factores importantes.

El aumento de la eficiencia energética tiene un efecto moderador en los precios de la energía, reduce la dependencia de las importaciones de energía, contrarresta los conflictos de distribución de la energía y disminuye la emisión de dióxido de carbono.

Sección 2.2

Contexto energético de Chile

2.2.1. Indicadores de consumo globales

De acuerdo al informe anual de BP Statistical Review of World Energy 2021, Chile se caracteriza en términos de energéticos globales con los siguientes indicadores (respecto año 2019) [16]:

- Consumo energético 2020 de 1,61 ExaJoules equivalentes al 0,3 % del consumo global.
- Crecimiento porcentual en el año 2020 de -4,9 %.
- Crecimiento porcentual entre los años 2009-2019 de 2,4 %.
- Incremento en el consumo de ERV de 12,9 %.
- Incremento en la generación mediante ERV de 13,4 %.
- Reducción de las emisiones de CO_2 en 7,6 %.
- Reducción en el consumo de petróleo en 9,1 %.
- Reducción en el consumo de gas natural en 6,3 %.
- Reducción en el consumo de carbón en 4,4 %.

2.2.2. Matriz energética nacional

Según el último reporte del Coordinador Eléctrico Nacional [22], la capacidad energética instalada al año 2021 es de 30.223,8 MW donde 19.707,6 MW corresponde a centrales convencionales y 10.516,1 MW corresponde a centrales renovables. En la Tabla 2.1 se detallan los valores de generación y capacidad energética para cada tipo de energía primaria.

Durante el año 2019 la matriz energética primaria de Chile ascendió a 345.647 Tcal y la matriz energética secundaria alcanzó las 301.629 Tcal [25].

Año 2021	**Generación GWh**	**Capacidad MW**
Hídrico	16.016	6.849
Solar	10.215	5.935
Eólica	7.095	3.425
Biomasa	1.946	-
Geotérmica	317	77.9
Otras	303	475
Carbón	27.617	5.064
Gas Natural	14.464	5.016
Petróleo	2.183	3.382

Tabla 2.1: Volumen de energía generada y capacidad energética instalada por fuentes [23].

En la Figura 2.4 y Figura 2.5 se señala el volumen de energía generada y la capacidad instalada por fuente de energía a diciembre de 2021 respectivamente, dejando en evidencia como las ERV cada vez son más protagonistas en nuestra matriz energética primaria. Sin embargo, los combustibles fósiles en la actualidad aún representan un porcentaje importante aproximadamente de un 45 % en capacidad instalada y un 55 % en volumen de energía generada.

Es así, como en abril del año 2021 el Biministro Juan Carlos Jobet anunció que para el 2025 se habrán retirado el 50 % de las centrales a carbón. Esto luego de que ENGIE anunciara la salida total del carbón en sus centrales eléctricas, correspondiente a cerca de 1.500 MW, para el 2025 y el impulso de las energías renovables y de nuevas tecnologías de energía, como el hidrógeno verde [24]. Para mayor información revisar la noticia “Plan de retiro de carbón”.

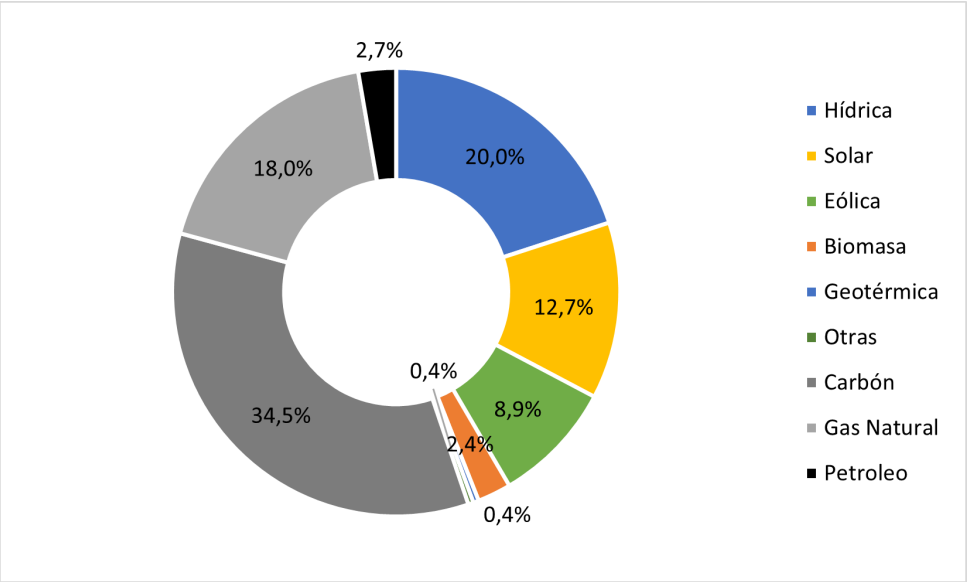


Figura 2.4: Volumen de energía generada por fuente [GWh] [23].

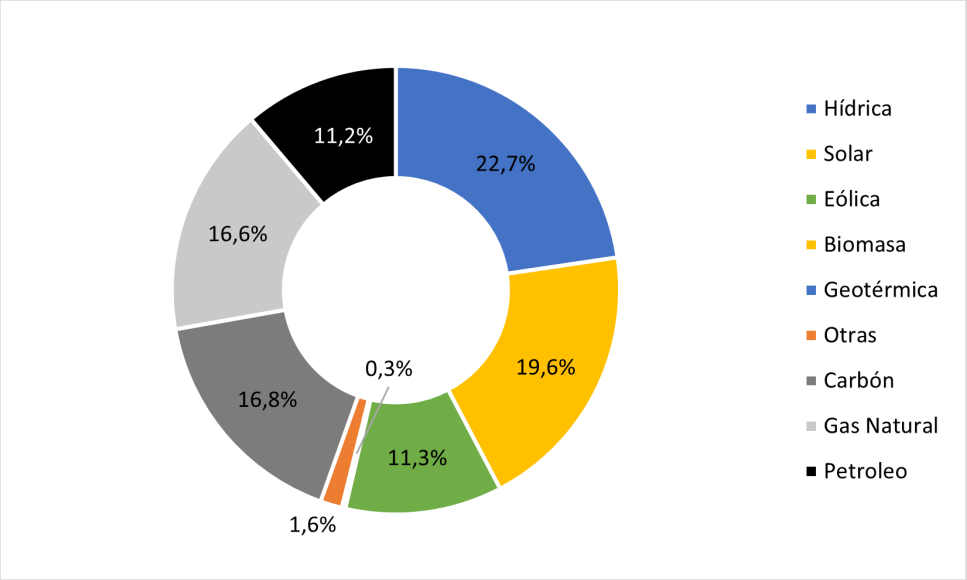


Figura 2.5: Capacidad energética instalada por fuente [MW] [23].

Si comparamos la tendencia mundial de la Figura 2.1(b) con la tendencia de los últimos 5 años en Chile en la Figura 2.6, se aprecia la misma misma tendencia y compromiso de reducir la generación por combustibles fósiles y fomentar la generación por ERV. La sociedad considera que no es suficiente y falta camino por recorrer.

En lo que respecta a Chile desde hace años se viene trabajando en materia de eficiencia energética y cambio climático, dejando como resultado la promulgación de la primera Ley de Eficiencia Energética y un Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026. Los cuales tienen metas ambiciosas pero necesarias para poder concluir en una carbono neutralidad para el año 2050.

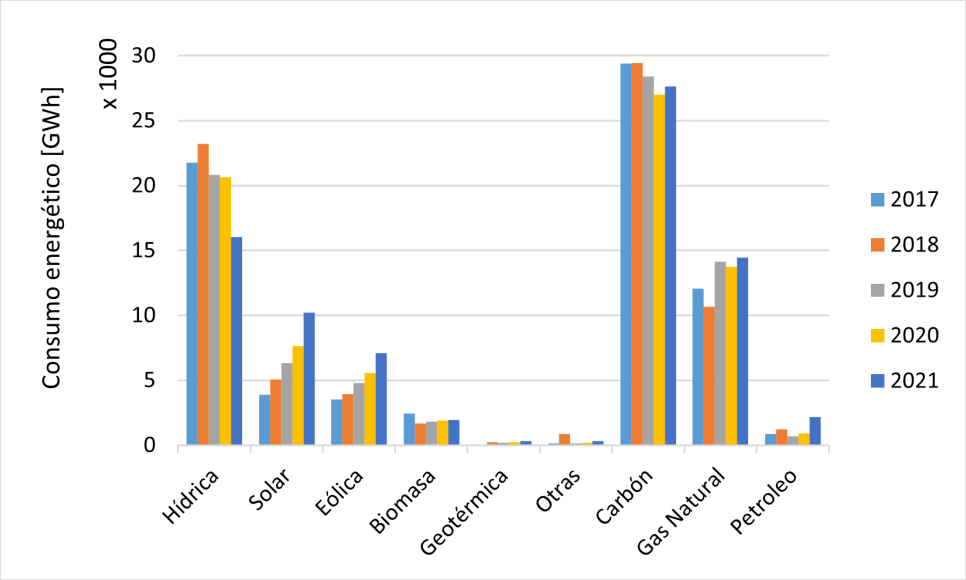


Figura 2.6: Participación por fuentes de generación años 2017-2021 [23].

2.2.3. Eficiencia energética y ERV en Chile

Durante el mes de noviembre del año 2021, el Ministerio de Energía publicó el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026 [6], el que tiene como objetivo proporcionar un marco estratégico para el desarrollo de la eficiencia energética de nuestro país, materializando el potencial de ahorro energético mediante el correcto uso de la energía, equipos más eficientes, optimización de procesos, entender usos y necesidades entre otros. Permitirán alcanzar la carbono neutralidad al año 2050.

Desde la publicación de la primera Ley de Eficiencia Energética [7], se ha desarrollado este primer Plan Nacional de Eficiencia Energética, que oriente la acción de los distintos sectores para los próximos cinco años en un uso responsable de su energía, y que permita lograr las metas en esta materia. Como por ejemplo, reducir la intensidad energética respecto del año 2019 en un 6 % al año 2026, un 15 % al año 2030 y un 35 % al año 2050 [6].

Sección 2.3

Eficiencia energética

En las Secciones 2.1 y 2.2 se destaca la importancia de fomentar el uso de ERV y de la eficiencia energética que ayudarían a resolver el desafió dual. Este estudio se centra en la sistematización de la eficiencia energética, con tal de mejorar continuamente los IDE y LBE a través de una planificación energética basada en la norma ISO 50001.

2.3.1. Definiciones

La norma ISO 50001 define la eficiencia energética como: “Razón u otra relación cuantitativa entre lo obtenido luego de producir bienes o servicios y la energía requerida para ello”.

Es decir, es posible cuantificar la eficiencia energética (E_f) en una fórmula, como:

$$E_f = \frac{O}{I_E} \tag{2.1}$$

Donde:

E_f	:	eficiencia energética.
O	:	cantidad producida o indicador referente a la entrega de un servicio específico.
I_E	:	energía requerida para producir o entregar un servicio específico.

En este sentido, la cuantificación puede depender del contexto industrial en el que se trabaje. Por esta razón, en la industria se suele utilizar la definición de eficiencia energética como: "reducción del consumo al mínimo y la mantención de los mismos servicios energéticos, sin disminuir la calidad de vida, protegiendo el medioambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso" [26].

2.3.2. Normativas

En torno a la eficiencia energética existen diversas normas y estándares técnicos que se aplican en distintas áreas. En particular, en lo que respecta a sistemas de gestión energética, se han desarrollado diversas normas y guías en distintos países. No obstante, la creación y aplicación de un estándar general e internacional es más bien una idea reciente. En la Tabla D.1 se detalla cronológicamente las normas existentes a la fecha.

Hasta el año 2011, en Chile no existían normas relacionadas con la gestión de la energía sino que, hasta la promulgación de la norma ISO 50001:2011 y posterior adopción a NCh 50001:2018.

Año	País	Norma
1982	Japón	JIS Z 9211 Technichal Terms used in Energy Management
1985	Corea del Sur	B 0071 Technichal Terms used in Energy Management (N° 2)
1990	Australia	AS 3595:1990 Energy Management programs – Guidelines financial evaluation of a project
1995	Canadá	PLUS 1140:1995 A Voluntary Energy Management Guideline
	China	GB/T 15587:1995 Guidelines for Energy Management in Industrial Enterprise
	EEUU	ANSI 739:1995 IEEE Recomended practice for energy management in industrial and commercial facilities
2000	EEUU	ANSI/MSE A Management System Energy Standard
2001	Dinamarca	DS 2403:2001 Energy Management-Specification
	Reino Unido	HB 1090:2001 Integrated Management System Series
2003	Reino Unido	PASS 55-1:2003 Specifications for the optimised management of physical infrastructure assets
	Suecia	SS 627750:2003 Energy Management-Specification
2004	Holanda	Energy Management System Specification with Guidance for Use
2005	Irlanda	IS 393:2005 Energy Management Systems-Specification for Guidance for Use
2006	Alemania	VDI 4602 Blatt 1:2006-04 Energy Management Terms – Definitions
2007	España	UNE 216301:2007 Sistema de Gestión Energética
	Corea del Sur	KSA 4000:2007 Korean Energy Management Standards
2009	UE	UNE EN 16.001:2009 Sistemas de Gestión Energética
	Sudáfrica	SANS 879:2009 Energy Management Specifications
2011	Internacional	ISO 50001:2011 Sistemas de Gestión de la energía: requisitos y guía para su uso
2018	Internacional	ISO 50001:2018 Sistemas de Gestión de la energía: requisitos con orientación para su uso

Tabla 2.2: Normas de gestión energética en diversos países del mundo a lo largo del tiempo [27].

2.3.3. ¿Por qué norma ISO 50001?

Unos de los objetivos fundamentales de cualquier organización es buscar la eficacia en la gestión energética. Esto es para conseguir el equilibrio entre evitar el daño al medioambiente, minimizar costos y garantizar en todo momento la calidad de los servicios y los productos que se ofrecen. La mayoría de las organizaciones implementan un sistema de gestión energética de la mano de la norma ISO 50001, cuya última versión se publicó en el mes de agosto del año 2018.

La elaboración de la norma contó con la participación de expertos representantes de cuarenta y cuatro países miembros de "Organización Internacional de normalización" (en adelante ISO) y otros diecisiete países observadores. Recogiendo los puntos más importantes de la normativa existente en distintos países.

Esta norma se puede aplicar a cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño, origen o ubicación y no exige certificación. Además, la norma ISO 50001 permite a las

organizaciones a establecer los sistemas y procesos para mejorar continuamente el desempeño energético, ofreciendo ventajas en:

- Ahorro energético y por tanto, económico;
- Mejora de la imagen corporativa;
- Demostración a terceros de la contribución con el medioambiente y el desarrollo sostenible;
- Apertura de puertas en los concursos públicos; y
- Fácilmente integrable con otros sistemas de gestión.

Sección 2.4

Norma ISO 50001

Publicada por la ISO en 2011, la norma ISO 50001 "sistemas de gestión de la energía: requerimientos y guía para su uso" proporciona a las organizaciones y empresas un marco claro para establecer un SGE eficaz y sostenible en el tiempo. Sus objetivos y metodología complementan las normas ISO 9001 e ISO 14001 de gestión de la calidad y gestión medioambiental, respectivamente.

La norma establece los lineamientos que debe tener un SGE para que las organizaciones logren de manera exitosa las tareas en el ámbito de eficiencia energética. Proporciona un enfoque sistemático para la mejora del desempeño energético que puede transformar la manera en la que las organizaciones gestionan la energía. Es decir, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, a la vez que aumentan el desempeño energético como también sus ventajas competitivas y reducen sus costos sin sacrificar su capacidad productiva.

La norma además, especifica los requerimientos para establecer, implementar, mantener y mejorar un SGE. Más aún, indica los requisitos respecto de la medición, documentación y reporte del desempeño energético, diseño de equipos y procesos que contribuyen a la explicación del desempeño energético.

Para lograr la mejora continua, la normativa busca que las empresas al implementar un SGE rompan con el paradigma de implementar acciones de eficiencia energética en respuesta al incremento de los costos de operación, también conocido como gestión de la energía *ad hoc* a los costos.

La Figura 2.7 muestra el comportamiento de los costos de la energía en el tiempo cuando las organizaciones implementan acciones para ahorrar energía en respuesta a incrementos en los costos. Los costos de la energía continuaran su ciclo hasta desbordarse, a menos que las organizaciones se decidan a gestionar el uso de la energía de forma cotidiana e integrarla en sus operaciones empresariales normales.

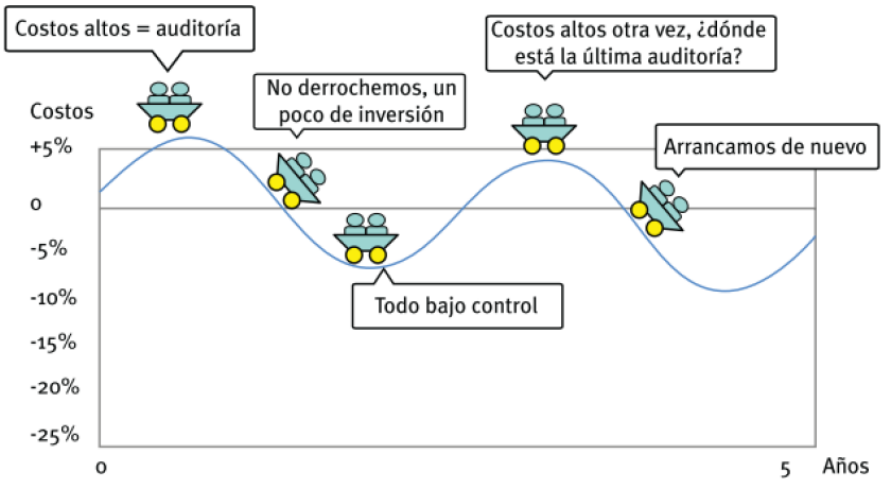


Figura 2.7: Resultados de gestión de energía *ad hoc* a los costos [12].

En la Figura 2.8 en cambio podemos ver que, con un enfoque de mejora continua a través de un sistema de gestión de la energía, se pueden mantener las mejoras en el desempeño energético y los costos siguen disminuyendo con el transcurso de los años.

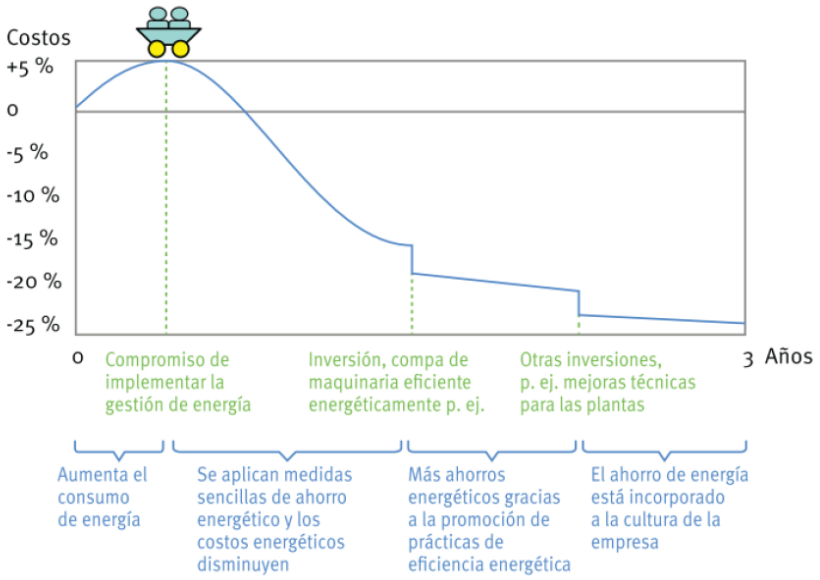


Figura 2.8: Resultados de un proceso sistemático de gestión de energía [12].

2.4.1. Proceso de mejora continua

La finalidad de implementar un SGE es mejorar el desempeño energético de la organización de forma lógica, controlada y sistemática, para que esta reduzca costos y ahorre energía. Lo anterior es posible realizarlo con un enfoque cíclico de mejora continua, también conocido como ciclo de Deming. La Figura 2.9 muestra el principio de mejora continua del desempeño según el ciclo de planificar, hacer, verificar y actuar.

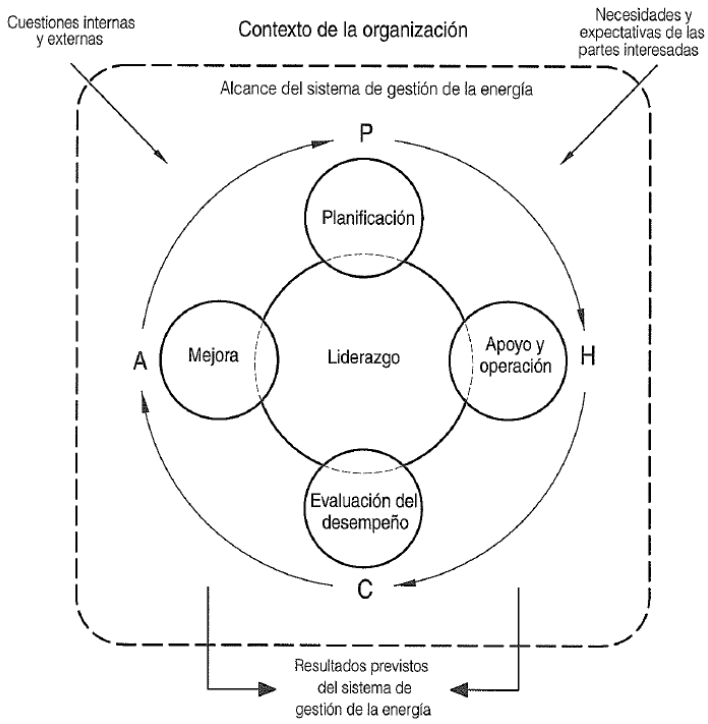


Figura 2.9: Ciclo de Deming planificar - hacer - verificar - actuar [10].

El ciclo de Deming está compuesto por cuatro etapas (PHVA), de manera que, al finalizar la última de ellas comienza la primera de nuevo. Esto permite que la actividad sea evaluada una y otra vez periódicamente incorporando nuevas mejoras. Dichas cuatro etapas son las siguientes:

1) **Planificar:** se centra en entender el comportamiento energético de la organización para establecer los controles y objetivos necesarios que permitan mejorar el desempeño energético.

2) **Hacer:** busca implementar procedimientos y procesos regulares, con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.

3) **Verificar:** consiste en monitorear y medir procesos y productos, en base a las políticas, objetivos y características claves de las operaciones, así como reportar los resultados.

4) **Actuar:** toma de acciones para mejorar continuamente el desempeño energético y del SGE en base a los resultados.

Es importante destacar que el esquema PHVA es utilizado en todos los sistemas de gestión planteados por ISO y por tanto, se pueden integrar varios sistemas de gestión.

2.4.2. Requisitos de la norma ISO 50001

Los requisitos de ISO 50001 se clasifican en requisitos medulares y requisitos estructurales. Los requisitos medulares son esenciales para observar y mejorar el desempeño energético. En cambio, los requisitos estructurales, como su nombre lo indica, son aquellos que proveen la estructura en torno a los requisitos medulares y que convierten a la gestión de la energía en un proceso sistemático y controlado.

Los requisitos medulares son todos aquellos centrados en la gestión misma de la energía. Esto quiere decir que, si una organización decide trabajar sólo en ellos, igualmente estará integrando

el desempeño energético en sus variables de control operacional y será posible ver resultados en el consumo de energía y costos asociados a él. Estos requisitos corresponden a todas las actividades de análisis del uso y consumo de energía y sus costos asociados, pero al no abordar los requisitos estructurales, se dificulta que las acciones necesarias para mejorar el desempeño energético se mantengan en el tiempo, especialmente en las que se debe trabajar de forma transversal en la organización. Es decir, 1) objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos; 2) revisión energética; 3) indicadores de desempeño energético; 4) línea de base energética; 5) planificación y control operacional; 6) diseño; 7) adquisición; 8) planificación para la recopilación de datos de la energía; 9) seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGE.

La norma ISO 50001 específica los requisitos para la implementación de un SGE que genere mejoras continuas en el desempeño energético. Los requisitos estructurales, se muestran en la Tabla 2.3 y en color gris los requisitos medulares.

Requisitos norma ISO 50001:2018	
Planificar	4.1 Comprensión de la organización y su contexto
	4.2 Comprensión de las necesidades y las expectativas
	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de la energía
	4.4 Sistema de gestión de la energía
	5.1 Liderazgo y compromiso
	5.2 Política energética
	5.3 Roles, responsabilidades y autoridades
	6.1 Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades
	6.2 Objetivos, metas energéticas y planificación para lograrlos
	6.3 Revisión energética
	6.4 Indicadores de desempeño energético
	6.5 Línea base energética
	6.6 Planificación para recopilación de datos de la energía
Hacer	7. Apoyo
	7.1 Recursos
	7.2 Competencia
	7.3 Toma de conciencia
	7.4 Comunicación
	7.5 Información documentada
	8. Operación
	8.1 Planificación y control operacional
	8.2 Diseño
	8.3 Adquisición
Verificar	9. Evaluación del desempeño
	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño
	9.2 Auditoría interna
	9.3 Revisión por la dirección
Actuar	10. Mejora
	10.1 No conformidad y acción correctiva
	10.2 Mejora continua

Tabla 2.3: Requisitos definidos por la norma ISO 50001:2018 [10, 11].

2.4.3. Requisitos a implementar de la norma ISO 50001

Como se señaló anteriormente en la Sección 1.3, en este estudio se implementarán los requisitos medulares de planificación, según señala la norma ISO 50001. En Anexos B se definen y detallan cada uno de estos requisitos (no obstante, en este documento serán resumidos y explicados más adelante):

- Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos.
- Revisión energética.
- Indicadores de desempeño energético.
- Línea de base energética.

Sección 2.5

Diseño de un Sistema de Gestión de la Energía

El SGE está compuesto por las áreas de la organización que interactúan o se interrelacionan para establecer políticas, objetivos y procesos en el ámbito de la energía, definiendo claramente un estructura de roles y responsabilidades para alcanzar dichas metas.

2.5.1. Compromiso de Alta Dirección

Es indispensable para el éxito de un SGE contar con el compromiso de la Alta Dirección, ya que es a este nivel donde se toman las decisiones estratégicas de las organizaciones. Contar con este compromiso puede ayudar a disminuir la reticencia frente a los cambios, ayudando a identificar más fácilmente oportunidades de mejora, con el consiguiente aumento del desempeño energético.

2.5.2. Representantes y equipo de gestión energética

En principio se deberá designar un representante del SGE a nivel de Alta Dirección con niveles de responsabilidad y autoridad adecuadas para asegurar el correcto funcionamiento del SGE. Al mismo tiempo, es indispensable la creación de un comité o equipo de gestión de la energía, idealmente integrado por miembros de la organización que entiendan el funcionamiento de los procesos y equipos con los que cuenta la empresa.

En la Figura 2.10 se presenta un organigrama sugerido por la Agencia de sostenibilidad energética (en adelante AgenciaSE) que puede tener un SGE. Además de presentar un organigrama o comité se debe documentar la descripción de los diferentes roles y responsabilidades de los miembros del equipo o comité.

Figura 2.10: Organigrama equipo o comité de gestión de energía [11].

2.5.3. Planificación del SGE

En la práctica, la planificación de un SGE consiste en un enfoque estructurado en que se especifican roles, responsables y métricas, para el cierre de las brechas encontradas en el análisis de brechas y la mejora del desempeño energético levantado en la revisión energética.

Utilizando la guía de implementación de sistemas de gestión de energía basados en ISO 50001 [11, 12] y como referencia para la planificación de un SGE se establece lo siguiente:

1) Definir el plan de diseño, considerando los siguientes elementos:
   - Levantamiento de información sobre características energéticas de la organización (revisión energética), y su situación actual referente a la gestión de la energía (análisis de brechas).
   - Levantamiento de información respecto a la existencia de otro sistema de gestión estilo ISO en la organización, que permita emplear más fácilmente los requisitos de la norma ISO 50001.
2) Definir el contexto de la organización, respondiendo a las siguientes preguntas:
   - ¿Cuál es el foco de las principales actividades desarrolladas por la organización?
   - ¿Cuál es la importancia estratégica de la energía para la organización?
   - ¿Cuánto influye el costo de la energía en la organización?
   - ¿Cómo influyen las acciones relacionadas con sustentabilidad con las partes interesadas?
   - ¿Cuáles son los riesgos asociados con el uso y consumo de la energía para la organización?
3) Consolidar la información de la revisión energética, considerando:
   - Principales usos de energía y su aporte al consumo total energético de la organización.
   - Comportamiento en el tiempo del consumo y su relación cualitativa y (de ser posible) cuantitativa con otras variables de la operación y el entorno.
4) Definir un plan de cierre de brechas en la gestión, por requisito, considerando:
   - Documentación existente y si ayudan a cumplir el requisito.
   - Descripción del cumplimiento.

- Plan de acción o mejora.
- Responsables.
- Plazos estimados para el cumplimiento del plan.

Sección 2.6

Revisión Energética

La revisión energética es un proceso de identificación de los usos y consumos de energía y sus niveles de eficiencia asociados. Esta es considerada una de las etapas más importantes de la implementación y posterior mantenimiento de un SGE, su finalidad es determinar los consumos de energía en las instalaciones, apoyar la determinación de la línea base energética e identificar oportunidades de mejora.

La finalidad de la revisión energética, a nivel del SGE, es examinar cómo se usa la energía y el responder a la siguiente interrogante: ¿Cómo se medirán las mejoras del desempeño y se identificarán las oportunidades de reducir el uso de la energía a través de una combinación de mejores prácticas, proyectos técnicos, capacitación u otros medios?.

En este sentido, las actividades a realizar para implementar los capítulos 6.3 a 6.5 de la normativa son representados en la Figura 2.11.

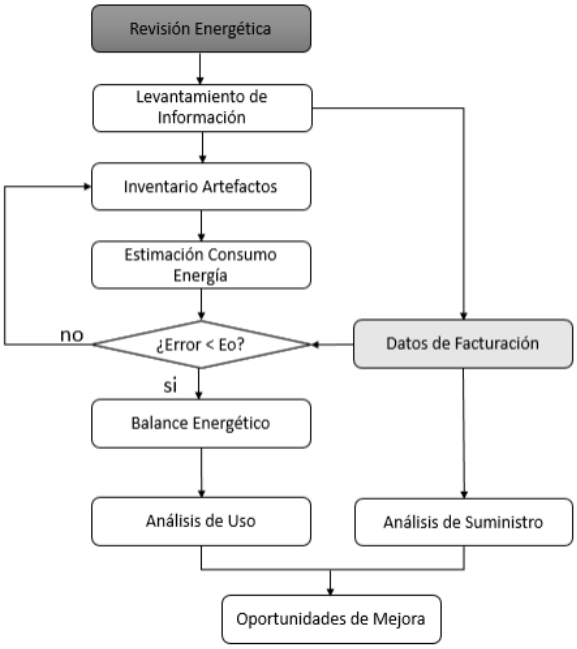


Figura 2.11: Metodología de revisión energética.

- **Levantamiento de información**: corresponde a la recopilación de datos de: 1) las facturas de energía y de los medidores individuales (si es posible); 2) lista de los sistemas consumidores, procesos y equipos; planes futuros que puedan afectar el desempeño energético (por ejemplo: expansiones de capacidad, cambios en el nivel de producción, reemplazo de equipos, eliminación de instalaciones o sistemas); 3) documentos de mantenimiento, operación y diseño (por ejemplo: dibujos, especificaciones de equipos, datos de sistemas

de control); 4) usos significativos de energía y; 5) toda aquella información respecto de revisiones energéticas anteriores, IDE y SGE de la organización (en caso de existir).

- **Inventario de artefactos**: este proceso consiste en la construcción de una base de datos con la siguiente información: nombre del artefacto; uso de energía; potencia nominal; fuente de energía; cantidad de artefactos del mismo tipo.
- **Estimación del consumo de energía**: si cada fuente de energía (electricidad, gas, combustibles líquidos, etc) tiene un medidor individual, las lecturas de cada uno de los medidores le podrán dar a la organización algunos datos útiles o incluso un panorama completo del consumo energético. Si no hay medidores individuales, lo que es muy común, tendrá que hacer estimaciones por otros medios. Uno de ellos consiste en estimar el consumo total de los diferentes usos mediante la ecuación 2.2:

$$CE = P_N \cdot F_c \cdot R_T \cdot h \tag{2.2}$$

Donde:

CE : consumo energético anual estimado [kWh/año].
P_N : potencia nominal del equipo [kW].
F_c : factor de carga o ajuste [-].
R_T : régimen de trabajo [días/año].
h : horas al día en que está en funcionamiento el equipo. [Horas/día].

- **Datos de facturación**: información consolidada de las facturas de suministro de las instalaciones.
- **Balance energético**: antes de realizar el balance energético, se debe revisar si es que la diferencia entre la realidad (es decir, el consumo especificado en las facturas de suministro) y la estimación de consumo está bajo un umbral aceptable. Se define el error en la energía como sigue:

$$Error_{energia} = \frac{E_{facturada} - E_{estimada}}{E_{facturada}} \tag{2.3}$$

Donde:

$E_{facturada}$: energía real consumida total anual [kWh/año].
$E_{estimada}$: energía anual estimada [kWh/año].

Sea E_0 el valor umbral de error definido por la organización para aceptar una estimación energética. Si $Error_{energia} < E_0$ se procede a aceptar la estimación. En caso contrario, debe revisarse el inventario de artefactos y luego la estimación de consumo a través de la ecuación 2.2. Ahora, si se cumple la condición lógica respecto del error, debe realizarse un balance energético, consistente en revisar cómo aportan cada uno de los usos energéticos a la cantidad total de energía consumida.

- **Análisis de uso**: en este punto debe analizarse la repartición o porcentaje del consumo energético que corresponde a cada uso de energía además, de las respectivas claves encontradas que puedan indicar posibles oportunidades de mejora.

- **Análisis de suministro**: si es posible realizarlo, debe analizarse la pertinencia del tipo de factura energética de cada proveedor de servicio y el régimen de uso de los equipos de la organización. Se debe concluir sobre si el tipo de cobro se adecúa a la organización, con la finalidad de encontrar posibles reducciones en costos al cambiar la facturación.
- **Usos significativos de la energía**: los USE son aquellos consumos de energía que ofrecen un alto potencial de mejora, por lo que, son aquellos puntos en los cuales las organizaciones deben enfocar su gestión. La norma da libertad a las organizaciones para definir que consideran un USE, pese a esto, lo más común es que se definan como los procesos que tienen mayor proporción de consumo de energía o en términos de costo.
- **Oportunidad de mejora**: la identificación de oportunidades de mejora se ejecuta dentro del marco de la revisión energética, representando uno de los aspectos más relevantes del SGE. Idealmente se deberá contar con una metodología en la cual participe el equipo de gestión energética, a modo de tener opiniones de distintas áreas de la organización, y se consideren tanto criterios técnicos como económicos, u otros que la organización considere relevantes para su desempeño energético [11].

2.6.1. Análisis de brechas

Una vez recopilada la información base de la organización se debe realizar un análisis de brechas entre la situación actual y los requisitos establecidos en ISO 50001. De esta forma se identifican los elementos que son factibles de integrar al SGE, así como los elementos que requieren ser desarrollados. Con un análisis de brechas adecuado, la organización podrá estimar los esfuerzos específicos que requiere para la implementación.

El análisis de brechas cuenta con tres actividades esenciales para identificar la existencia de elementos en la organización que responden a requisitos del estándar ISO 50001:

1) Analizar la información documental recopilada en la etapa anterior con la finalidad de comprender el funcionamiento de sus procesos y el estado actual de la gestión de la energía.
2) Realizar un recorrido por las instalaciones para comprender la actividad de la organización y las relaciones entre las áreas involucradas en el alcance del SGE.
3) Realizar una serie de reuniones de trabajo con las diferentes personas involucradas en la gestión de la energía por ejemplo, operación, planificación, proyectos, finanzas, medioambiente, compras, etc. La finalidad de las reuniones es para complementar el levantamiento, consensuar brechas y sensibilizar sobre los futuros elementos a diseñar para el SGE.

2.6.2. Indicadores de desempeño energético y línea base energética

Un IDE es un valor o medida que cuantifica los resultados relacionados con el desempeño energético y el consumo de energía en las instalaciones, sistemas, procesos y equipos. Los IDE deben reflejar efectivamente el desempeño energético y los USE de la organización, motivo por el cual se debe tener cuidado en su construcción, ya que una simplificación excesiva puede resultar en un análisis sin valor para el SGE.

La LBE es un elemento que cuantifica e indica como se está utilizando la energía además, de caracterizar el desempeño energético de la organización durante un período predeterminado (generalmente 1 año). La LBE se debe establecer usando la información obtenida en la primera etapa de la revisión energética y se puede calcular a través de diferentes métodos. Es también un reflejo de la organización previo a la implementación de un SGE.

Las organizaciones definen metas para el desempeño energético como parte del proceso de planificación de la energía en sus SGE. La organización necesita tener en cuenta las metas específicas de desempeño energético, mientras se identifican y diseñan los IDE y las LBEs. La diferencia entre el valor de referencia y el valor resultante es la medida del cambio en el desempeño energético como se ilustra en la Figura 2.12.

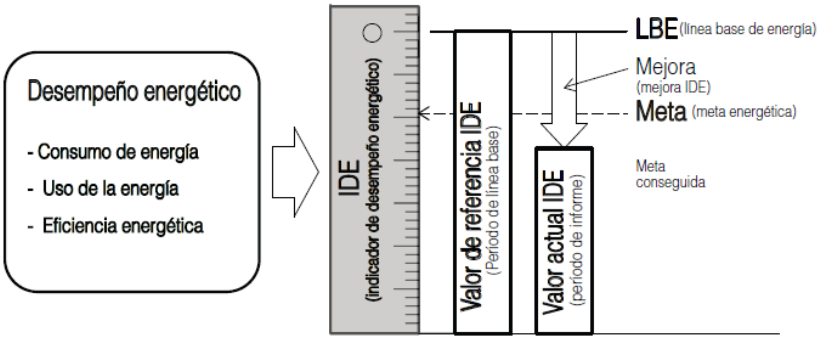


Figura 2.12: Relación entre desempeño energético, IDE, LBE y metas energéticas [15].

2.6.3. Fuentes de energía

De forma general, se define a la energía, como toda causa capaz de producir trabajo, o su transformación en otro tipo de energía. La física ha establecido que esta no se crea ni se destruye, solo se transforma. Por lo tanto, en todos los procesos la suma de energía iniciales debe ser igual a la suma de energías resultantes.

La energía puede provenir de distintas fuentes y se clasifica en primarias y secundarias, las primarias pueden obtenerse directamente de la naturaleza, mientras que las secundarias son transformadas desde las primarias mediante procesos tecnológicos.

1. **Fuentes de energía primarias**
   - **Energía solar**: energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. Las principales tecnologías son la solar fotovoltaica (aprovecha la luz del sol) y la solar térmica (aprovecha el calor del sol).
   - **Energía hidráulica**: energía que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Este proceso se realiza dentro de las presas o centrales hidroeléctricas.
   - **Energía mareomotriz**: energía que se obtiene de las mareas.
   - **Energía undimotriz u olamotriz**: energía que se obtiene de las olas.
   - **Energía eólica**: energía que se obtiene a partir del viento, es decir, es el aprovechamiento de la energía cinética de las masas de aire. Encargada de generar electricidad a través de los aerogeneradores o molinos de viento.
   - **Biomasa y biogás**: energía que se extrae de materia orgánica.
   - **Energía geotérmica**: energía calorífica contenida en el interior de la Tierra.
   - **Bioetanol y biodiesel**: combustibles orgánicos (también llamado combustibles descarbonizados) apto para la automoción que se logra mediante procesos de fermentación de productos vegetales.

- **Energía nuclear**: también llamada atómica, es la energía contenida en el núcleo de un átomo liberada espontánea o artificialmente en las reacciones nucleares.
- **Combustibles fósiles**: como el petróleo, el carbón o el gas, estos recursos se agotan rápidamente y, dependiendo de la zona del mundo de la que hablemos, incluso es posible que no existan. Su uso, explotación y transporte generan importantes riesgos y tienen parte de culpa si hablamos de la contaminación ambiental.

2. Fuentes de energía secundaria

Las fuentes de energía secundaria, también llamadas portadores de energía, se derivan de la transformación de las fuentes de energía primaria. Se llaman portadores de energía, porque mueven energía de una forma utilizable de un lugar a otro. Los portadores de energía conocidos son: electricidad, productos petroleros secundarios, derivados de carbón, biomasa o bio-combustibles, hidrógeno, entre otros.

2.6.4. Caracterización de equipos

A continuación, se presenta una caracterización de algunos de los equipos más utilizados en una maestranza.

Calderas

La caldera es un equipo capaz de producir calor al quemar un combustible en su interior, utilizando ese calor para calentar agua o producir vapor para calefacción, generación de electricidad, procesos industriales u otros usos generales. El calor es trasmitido al fluido a través de distintos métodos, como conducción, radiación y convección. Según el combustible que utilizan, se pueden clasificar en calderas de combustibles solidos, líquidos, gaseosos o utilizar como fuente calorífica la electricidad. El fluido caloportador puede calentarse a diferentes temperaturas, que normalmente no sobrepasan los 90° C, quedando por debajo del nivel de ebullición. El rendimiento de las calderas expresado en porcentaje es la relación entre el calor realmente producido y la capacidad de producir calor desde el combustible utilizado.

Hornos

Los hornos industriales son dispositivos utilizados en la industria en los cuales se calientan materiales, piezas o elementos en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objetivo de este calentamiento puede ser variado, algunos ejemplos que encontramos en la industria son:

- Producir reacciones químicas para alcanzar un determinado producto.
- Cambios de estado (fusión, vaporización).
- Impartir determinadas propiedades.
- Recubrir piezas con otros materiales.

Se pueden clasificar en dos grandes grupos según forma de calentamiento, los hornos de llama que obtienen su energía calorífica desde combustibles solidos, líquidos o gaseosos trasmitiendo el calor por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de tubos radiantes o intercambiadores.

Los hornos eléctricos generan calor a través de distintos métodos tales como, arco voltaico, inducción electromagnética, microondas, resistencia óhmica, entre otros. Los hornos eléctricos

presentan una serie de ventajas frente a los de llama, como la ausencia de humos, que mejora el entorno de trabajo y el ambiente, mayor seguridad, simpleza en el aislamiento térmico, sencillez en el funcionamiento y automatización.

Hidrolavadoras

Las hidrolavadoras son equipos que expulsan agua a alta presión, generalmente para la limpieza de elementos variados, eliminando pintura, restos de polvo, suciedad, entre otros. La forma en que trabajan es simple, expulsan agua presurizada a alta velocidad a través de una manguera que en el extremo tiene una boquilla fina, produciendo un chorro con aún más fuerza. Algunos equipos permiten la adicción de agentes limpiadores, incluso arena, lo que aumenta el poder de limpieza.

La Figura 2.13(a) ilustra una foto referencial de hidrolavadora industrial utilizada en el taller de combustión interna. La figura 2.13(b) ilustra una foto referencial de hidrolavadora manual utilizada en el taller de electricidad.

(a) Hidrolavadora industrial de cabina. (b) Hidrolavadora manual.

Figura 2.13: Tipos de hidrolavadoras [31, 32].

Puente grúa

Son máquinas empleadas para la elevación y el transporte de cargas pesadas (varias toneladas), permitiendo su movilidad en forma horizontal y vertical. Están compuestas de rieles paralelos ubicados a gran altura con una viga entre ellos que se desplaza a través de los rieles. Esta viga cuenta con un güinche (polipasto) que es el dispositivo de izaje con el que cuenta la grúa. Su fuente de poder por lo general es eléctrica.

La Figura 2.14 ilustra una foto referencial de un puente grúa de 20 toneladas, dentro de ASMAR-V existen puentes grúas de distintos tonelajes para realizar las distintas tareas.

Figura 2.14: Puente grúa [33].

Tornos

Los tornos son herramientas en las cuales se puede mecanizar, roscar, cortar, agujerear, entre otras diferentes piezas metalizas por revolución. Estos equipos trabajan haciendo girar las piezas, mientras otras herramientas de corte son empujadas en contra de la pieza a modelar. Esta herramienta de corte se monta sobre un carro que se desplazas sobre rieles paralelos al eje de giro de la pieza. Generalmente, los tornos cuentan con un motor eléctrico principal que hace girar las piezas a altas revoluciones. Existe en la actualidad una gran cantidad de tipos de tornos, su elección dependerá de la cantidad de piezas a realizar y el material a utilizar.

La Figura 2.15 ilustra una foto referencial de un torno multiherramienta utilizado en el taller de mecánica de ASMAR-V.

Figura 2.15: Torno multiherramienta [34].

Granalladoras

Este equipo se utiliza para la limpiar, fortalecer o pulir superficies a través de un chorro de granallas que dispara partículas abrasivas a alta velocidad, a través de una turbina centrifuga o aire comprimido.

Prensas hidráulicas industriales

Una prensa hidráulica es un dispositivo mecánico que usa el flujo de fluido (generalmente aceite hidráulico) para generar fuerza y se usa para comprimir diferentes tipos de materiales para compactarlos y finalmente empacarlos. Se fabrica en varios estilos y tamaños, con capacidades que van desde una tonelada o menos hasta diez mil toneladas o más.

Generadores de respaldo

Un grupo electrógeno es un aparato cuya función es convertir la capacidad calorífica en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. En general, los grupos electrógenos suelen utilizarse como fuente principal de energía o bien como apoyo o respaldo de otra fuente para poder responder a las demandas energéticas de una forma real y eficiente sea cual sea su aplicación.

En cuanto al funcionamiento de estos aparatos, los grupos electrógenos están compuestos por un generador impulsado por un motor de combustión interna. En cuanto al combustible en estos equipos se puede elegir entre gasóleo o diésel, gas natural, biogás, entre otros.

La Figura 2.16 ilustra una foto referencial de un grupo electrógeno de 700 kVA, cabe destacar que ASMAR-V cuenta con dos grupo electrógeno G1: 750 kVA y G2: 500 kVA.

Figura 2.16: Grupo generador 700 kVA [35].

Compresor de aire de tornillo

Los compresores de aire tienen un funcionamiento más bien sencillo para la cantidad de tareas que nos facilitan. Estas herramientas cogen el aire a presión ambiente y, a través de un sistema de filtrado y con la ayuda de un presostato, lo devuelve con la presión necesaria para trabajar.

Este aire saldrá a través de una salida directa o irá a parar a un calderín, donde se acumulará para adquirir una mayor presión.

Una de las principales ventajas de usar un compresor de aire de tornillo, versus otros compresores de aire es el suministro continuo de aire comprimido. Otros beneficios de los compresores de tornillo rotativo es que estas máquinas hacen posible el trabajo en diversas aplicaciones, desde las más simples hasta las más complejas.

La Figura 2.17 ilustra una foto referencial de un compresor de características similares al que se utiliza en ASMAR-V.

Figura 2.17: Compresor de tornillo sin aceite y con enfriamiento por aire [36].

High velocity air fuel (HVAF)

HVAF es un proceso de proyección térmica para la deposición de recubrimientos para la protección de piezas, recipientes y estructuras contra la abrasión, la erosión y la corrosión.

El proceso HVAF funciona con combustible gaseoso como propano, propileno o gas natural (suministrado desde cilindros o líneas de gas a 140 psi) y aire comprimido (suministrado por un compresor de aire de 400 CFM a 125 psi). No hay requisitos adicionales para la refrigeración o el funcionamiento.

La Figura 2.18 ilustra una foto referencial de un sistema de recubrimiento mediante high velocity air fuel ubicado en el taller de estructuras de ASMAR-V.

Figura 2.18: Sistema de recubrimiento HVAF [37].

Cortadora de plasmaHypertherm HPR400XD

La cortadora de plasma es un sistema de corte en el que la calidad del plasma dependerá de la presión y de la temperatura. Permite cortar materiales delgados, desde medio milímetro hasta materiales bastante gruesos, de unos ciento sesenta y cinco milímetros. Puede suceder que sí las piezas son muy pequeñas, se pueden deformar los materiales debido a las elevadas temperaturas. Las cortadoras de plasma portátiles son ideales para cortar chapas de poco espesor, siendo muy usadas en los sectores de la automoción y la cerrajería.

La Figura 2.19 ilustra una foto referencial de la cortadora de plasma HPR 400XD ubicada en el taller de estructuras de ASMAR-V.

Figura 2.19: Sistema de corte por plasma HPR400XD [38].

Capítulo 3

Descripción de la organización

El presente estudio es desarrollado para la organización Astilleros y Maestranzas de la Armada de Chile, más conocido como ASMAR, es una empresa estratégica de la Defensa del Estado de Chile. Constituyendo una persona jurídica de derecho público, de administración autónoma y de patrimonio propio. La actividad principal de ASMAR es reparar y carenar las unidades navales de la Armada. También atiende la reparación y carena de naves y artefactos navales nacionales y extranjeros. La fabricación y reparación de artículos industriales para fines de seguridad nacional y construye naves y artefactos navales para la Armada y para terceros.

ASMAR, además, efectúa trabajos a las unidades y reparticiones terrestres de la Armada y de las Instituciones de la Defensa Nacional.

Con este propósito, ASMAR está organizada en tres plantas industriales ubicadas en las ciudades de Valparaíso, Talcahuano y Punta Arenas. Su dirección corporativa se encuentra ubicada también en Valparaíso.

La Figura 3.1 ilustra la planta industrial de ASMAR Valparaíso.

Figura 3.1: Fotografía de la planta industrial de ASMAR Valparaíso [39].

Sección 3.1

ASMAR Valparaíso

Para información más detallada dirigirse al sitio web de ASMAR [40].

Misión

Astilleros y Maestranzas de la Armada, ASMAR, es una empresa del Estado, de administración autónoma, del área de la industria naval y la defensa. Su función principal es reparar, carenar y construir las unidades de la Armada de Chile, pudiendo, con su capacidad excedente y sin afectar a su función principal, atender la reparación, carena y construcción de naves nacionales o extranjeras, en las plantas ubicadas en el territorio nacional.

Visión

Ser una empresa estratégica del Estado de Chile, líder y referente en el ámbito de la industria naval y de la Defensa a nivel nacional y regional, asegurando las capacidades que requiere la Armada de Chile para el sostenimiento de su flota y construcción de los buques que defina. Posicionándose además, como la mejor alternativa a nivel Latinoamericano en el área de reparaciones navales, siendo reconocido por la calidad, orientación al cliente y seriedad en sus operaciones.

Organización principal

ASMAR está compuesto de un Consejo Superior, una Dirección Corporativa y tres plantas industriales. La dirección superior corresponde al Consejo Superior, según lo establece el artículo 9 de la Ley de ASMAR. Entre sus funciones se encuentra: aprobar el plan general de trabajos, plan de inversiones y presupuesto anual, aprobar disposiciones generales para la organización, desarrollo de las actividades industriales y administrativas, entre otros (ver Anexo A).

El Director de ASMAR, es el representante legal de la empresa. Entre sus principales funciones, están las facultades para ejecutar o celebrar todos los actos y contratos necesarios para la administración ordinaria de ASMAR, y dar cumplimiento a las disposiciones del Consejo Superior. Para el cumplimiento de tales propósitos cuenta en su organización con un Subdirector, una Gerencia Corporativa de planificación y desarrollo, un staff de asesores conformado por una Fiscalía, auditoría interna, una Gerencia de asuntos corporativos y un secretario general, dos Gerencias con funciones y visión de mercado en los ámbito comercial, reparaciones Armada, buques mercantes/pesqueros y construcción Naval, una Gerencia de finanzas corporativa, y una Gerencia con funciones de apoyo interno a las unidades de negocios y transversales a toda la empresa, en los ámbitos de recursos humanos y relaciones laborales. Además, existe un representante del director para el sistema de gestión de la calidad (El esquema de ASMAR se presenta en la Figura 3.2).

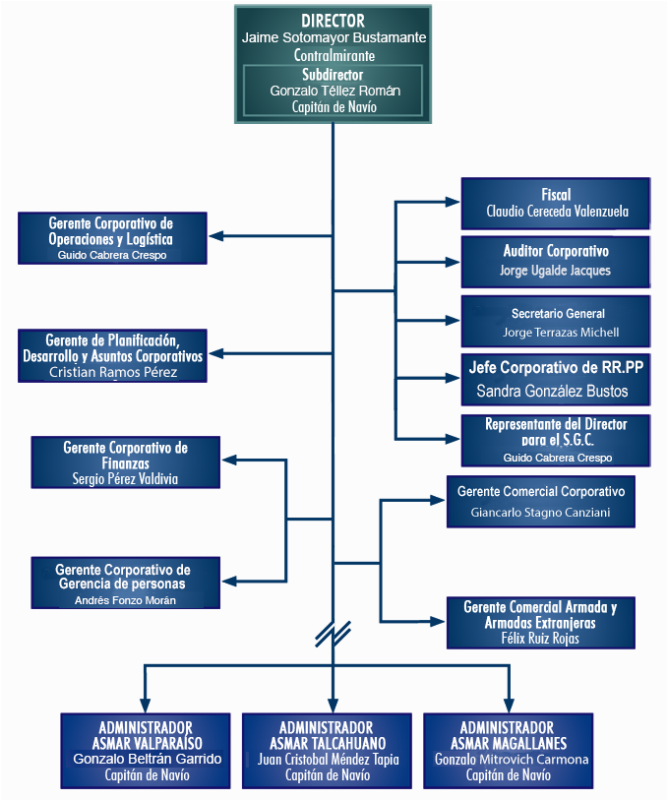


Figura 3.2: Dirección de ASMAR [1].

Número de personas que trabajan en la planta

ASMAR-V cuenta con una dotación permanente de aproximadamente 345 personas, distribuida entre ingenieros, técnicos, administrativos y personal calificado (para mayor detalle se recomienda revisar el Anexo A.1).

Capítulo 4

Metodología y desarrollo de trabajo

Con la finalidad de establecer un marco de trabajo práctico y sistemático del diseño de un sistema de gestión de la energía y, luego de establecer los antecedentes teóricos y de contexto de la organización, se presentan los aspectos metodológicos para lograr los objetivos planteados.

Los elementos metodológicos se encuentran agrupados en tres principales ejes, en concordancia con el marco teórico de este trabajo, a saber:

- Reunión con encargados: consiste en efectuar los primeros acercamientos con la empresa para entender los procesos y como se gestiona la energía dentro de la empresa.
- Levantamiento y análisis: debe considerar el levantar, consolidar y concluir respecto a la información sobre la Normativa ISO 50001, el contexto organizacional y el contexto industrial.
- Plan para el diseño del sistema de gestión de la energía: construcción de un marco para el cierre de brechas encontradas en el análisis de estas y para sustentar las oportunidades de mejora en el desempeño energético encontradas en la revisión energética.

La Figura 4.1 presenta un esquema de metodología y plan de trabajo el cual comienza a partir de las reuniones con encargados definiendo las brechas encontradas bajo los requerimientos de la norma ISO 50001. Posteriormente mediante una revisión energética definir una LBE e IDE para finalizar con la identificación de oportunidades de mejora y propuesta de medidas de eficiencia energética.

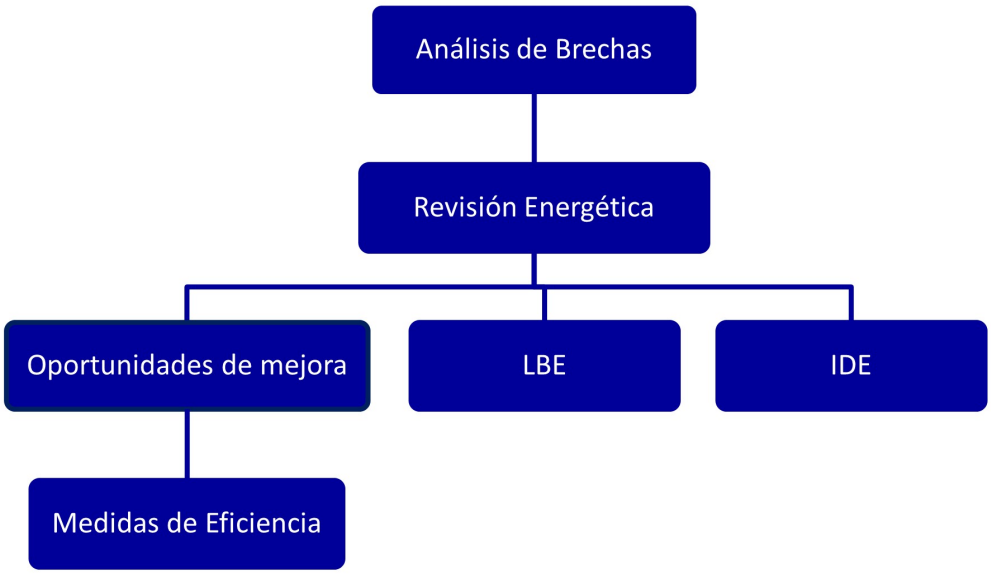


Figura 4.1: Esquema de metodología y plan de trabajo.

Sección 4.1

Estudios previos

Los estudios previos consisten en la etapa inicial del trabajo realizado, y constituyen todos sus antecedentes resumidos en los capítulos anteriores. Se separan en dos principales elementos:

4.1.1. Estudio de normativa

Revisión de la bibliografía correspondiente a la normativa oficial, guías de aplicación/implementación y otras normativas que faciliten llevar a un marco práctico de trabajo los diferentes levantamientos de información y el diseño del SGE.

4.1.2. Contexto organizacional

Recopilación de información y análisis de los principales procesos internos que deben ser considerados a la hora de diseñar un SGE. Principalmente, el foco de esta actividad pasa por entender las áreas y roles relevantes para la implementación futura del sistema.

Sección 4.2

Actividades previas al diseño de SGE

4.2.1. Diseño de revisión energética y análisis de brechas

El diseño de la revisión energética y análisis de brechas es el primer paso para la construcción de un SGE. En conjunto, ambos instrumentos permiten revisar cada uno de los requisitos de la norma ISO 50001.

Para diseñar la revisión energética, debe tomarse alguna metodología en bibliografía que sirva para el contexto organizacional e industrial. En este trabajo, el método utilizado para realizar la revisión energética está basado en [10–12] (la bibliografía para diseñar y aplicar un SGE está basado en la norma ISO 500001, para mayor detalle véase Anexo B).

El diseño de la revisión energética debe enfocarse en poder satisfacer los requisitos detallado en el Anexo B capítulos B.3.3, B.3.4 y B.3.5 de la norma ISO 50001. Esto implica que la revisión debe ser capaz de:

1) Identificar los usos de energía y procesos en los que más se consume energía.
2) Levantar la LBE, con tal de poder establecer un punto de partida y limite del consumo energético en la planta.
3) Construir los IDE necesarios para evaluar el éxito de medidas de eficiencia energética.

4.2.2. Análisis de brechas

Este análisis cuantitativo permite percatar brechas respecto a la implementación de un SGE, según la norma ISO 50001. A continuación, se pretende evaluar la situación actual de la planta

de ASMAR-V y servir de guía en el proceso de implementar un SGE. La metodología se basa en la guía de implementación establecida por la AgenciaSE y Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, en adelante ONUDI, [11, 12], dividiéndose en tres partes:

- Levantamiento de información: recopilación de la información relacionada con el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma.
- Identificación de brechas: se analiza la información anterior con las brechas existentes en la planta.
- Evaluación de situación actual: se califica cada brecha identificada según los requisitos de la norma.

Para este análisis se utiliza el criterio de evaluación descrito en la Tabla 4.1.

Puntaje	Criterio	Descripción
A	Logrado	El requisito ya se encuentra implementado.
B	Incompleto	La satisfacción del requisito es incompleta. Se requiere mayor desarrollo de elementos existentes.
C	Viable	Resulta factible satisfacer el requisito, más no se ha avanzado en el cumplimiento de éste.
D	Inviable	Las condiciones actuales no permiten la satisfacción del requisito.

Tabla 4.1: Criterio aplicado en la evaluación de los requisitos de la norma [11].

1) Identificación de brechas

Dado que no existe un SGE en la planta de ASMAR-V, no debe ser motivo de preocupación que la mayoría de los requisitos no se encuentren satisfechos. Pese a esto, este análisis permite identificar aquellos elementos que se pueden integrar al proyecto.

Posterior a las reuniones y conversaciones con encargados de ASMAR-V, se identifican brechas para cada requisito en concordancia con la norma ISO 50001. Para detectar estas brechas se requieren realizar preguntas para cada requisito las cuales han sido definidas en Anexo C. Estas brechas identificadas son presentadas en la Tabla 4.2.

Requisitos		Brechas identificadas en planta ASMAR-V
4.3 - 4.4	Determinación y alcance SGE	Existe la intención de implementar un SGE, pero falta definir alcances y mecanismos para su implementación.
5.1	Liderazgo y compromiso	No existe persona responsable de la gestión energética en la empresa.
5.2	Política energética	Existe una política de gestión integrada, pero no se menciona nada relacionado a la gestión energética.
6	Planificación energética	Se han ejecutado acciones de mejora aisladas, estas no poseen un carácter de un proceso de planificación energética.
7 - 8	Apoyo y operación	No existe capacitación en el personal, las medidas aisladas que se han implementado no son consistentes con la planificación.
9	Evaluación del desempeño	No existe plan de medición energético, no se ha medido el ahorro de las medidas y no se mantiene en el tiempo.
9.3	Revisión por la dirección	No existe una metodología de revisión.

Tabla 4.2: Brechas identificadas en la planta de ASMAR Valparaíso [11].

2) Evaluación de brechas

En conformidad con la metodología presentada y las brechas identificadas, se presenta en la Tabla 4.3 la evaluación realizada en la planta ASMAR-V, donde se incluye en la última columna el criterio descrito en la Tabla 4.1.

Requisitos norma ISO 50001:2018		Puntaje
4.2	Comprensión de las necesidades y las expectativas de las partes interesadas	C
4.3	Determinación del alcance del SGE	C
4.4	Sistema de gestión de la energía	C
5.1	Liderazgo y compromiso	B
5.2	Política energética	C
5.3	Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	C
6	Planificación energética	B
6.1	Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades	B
6.2	Objetivos, metas energéticas y planificación para lograrlos	C
6.3	Revisión energética	C
6.4	Indicadores de desempeño energético	C
6.5	Línea base energética	C
6.6	Planificación para la recopilación de datos de la energía	B
7	Apoyo	C
7.1	Recursos	C
7.2	Competencia	B
7.3	Toma de conciencia	B
7.4	Comunicación	C
7.5	Información documentada	C
8	Operación	C
8.1	Planificación y control operacional	D
8.2	Diseño	C
8.3	Adquisición	C
9	Verificación	C
9.1	Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGE	C
9.1.2	Evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos	D
9.2	Auditoría interna	D
9.3	Revisión por la dirección	D
10.1	No conformidad y acción correctiva	D
10.2	Mejora continua	C

Tabla 4.3: Evaluación de brechas en planta ASMAR Valparaíso.

Los resultados del análisis de brechas muestran que, de forma general resulta viable la implementación de un SGE, dado que el 63 % de los requisitos son viables de aplicar y el 20 % de los requisitos se encuentran incompletos para poder ser implementados. Se advierte que existen puntos que en la actualidad (el 17 % de los requisitos) no se podrían cumplir. La metodología de este diagnóstico establece que en esta etapa se debe planificar el cierre de estas brechas, este punto no es abordado por este estudio, ya que se centrará en los requisitos medulares correspondiente al capítulo 6 de la norma ISO 50001.

Este análisis servirá como punto de partida para establecer cuales son los avances de la planta

en el cumplimiento de estos requisitos.

4.2.3. Definición de alcance interno de la normativa y viabilidad de la certificación actual

Respecto del alcance interno de la normativa, es decir, cuáles requisitos y en qué nivel de detalle se incorporarán en el diseño del SGE, depende de lo obtenido del análisis de brechas y entrevistas relacionadas a la revisión energética. Esto permite generar un diseño funcional, que sea acorde y tome los elementos positivos de la cultura organizacional existente.

4.2.4. Revisión energética

La revisión energética comienza con el levantamiento de la información, que se enfoca en datos relativos a:

1) Obtención y análisis de datos: esta etapa es la que representa mayor variabilidad en tiempo y recursos, ya que depende de la complejidad de los procesos, de la existencia de datos históricos de medición de energía y otras variables que afecten el desempeño energético. Esta actividad implica:

   a) Recopilar información de consumo por procesos al interior de la planta.

   b) Recopilar información sobre la producción, listado de los equipamientos que consumen energía, parámetros operacionales, entre otros aspectos.

   c) Resumir la información referente al consumo de energía en la planta (uso, fuente de energía, instalación física, etc). En concreto un inventario de consumo consiste en el listado de todos los equipos, identificando las siguientes variables:

      - Sector/ubicación: para identificar el comportamiento energético de los diferentes sectores y departamentos organizacionales.
      - Uso de energía: macroproceso organizacional en que se usa el equipamiento o aparato.
      - Potencia nominal: información de potencia presente en la placa energética del equipo (en Watt).
      - Cantidad de equipos del mismo tipo en dicho sector: permite obtener la cantidad de energía total estimada consumida anual.
      - Tipo de fuente energética: electricidad, gas, combustible diésel u otro.
      - Régimen de trabajo: cantidad de horas en que se utiliza el equipo.
      - Factor de carga: medida de la utilización o aprovechamiento de la capacidad instalada.

   De este inventario de equipamiento se estima el consumo total de la planta y se compara con las facturas de energía, y, como se mencionó en el marco teórico, cumpliendo con el umbral de diferencia mínima es posible obtener la distribución por usos de energía del consumo.

2) Determinación de variables que afectan al consumo de energía: como parte de la revisión energética, la organización debe estimar los usos y consumos energéticos futuros. Esta

estimación debe realizarse, en la medida de lo posible, mediante el análisis de la influencia de las diferentes variables en los consumos energéticos identificados.

3) Identificar usos significativos de la energía: los USE son aquéllos que tienen un consumo sustancial de energía y/o que ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño, por lo que son los puntos en los que la organización debe enfocar su gestión. Estos se determinan mediante el principio de diagrama de Pareto [1], en que se define cuáles de los usos de energía poseen mayor aporte a la hora de explicar el 80 % del consumo total.

4) Oportunidades de mejora: la identificación de oportunidades de mejora puede realizarse a través de distintos mecanismos, siendo los más comunes las auditorías energéticas, comentarios realizados por empresas proveedoras de productos o servicios y observaciones del personal respecto al desempeño de los sistemas o procesos. En este caso, se realiza mediante un proceso de auditoría energética.

En colaboración con el personal de ASMAR-V a través de la auditoría energética y reuniones, complementado con lo propuesto por la AgenciaSE y ONUDI [11, 12], se llego a la conclusión de los objetivos y acciones para cada requerimiento resumidos en la Tabla 4.4.

Requerimiento	Objetivo	Acciones
Descripción de las instalaciones	Caracterizar a la organización, o parte de ella, que será sometida a la revisión energética, declarando alcances y límites del área a evaluar.	Descripción de la organización, representación gráfica del proceso y declarar alcance (área y recurso energético).
Consumo de energía e infraestructura de registro	Identificar datos de consumo y que energías disponibles en la organización, forma de registro y acceso a esta información.	Compilar datos de consumo, recurso e identificación infraestructura de registro.
Inventario equipos, maquinarias y estimación de consumo	Obtener datos de diseño de los equipos de consumo eléctrico, categorizar y estimar su consumo en período de referencia.	Registro y clasificación de equipos por tipo, por área. Matriz de usos y consumos energéticos. Estimación tiempo (horas) de consumo de cada equipo para período de referencia.
Balance energético	Contrastar energía estimada con valor de consumo energético registrado en período de referencia.	Realizar balance energético, diferencia menos de 5 % con consumo registrado en período de referencia.
Análisis de usos significativos	Desagregar el consumo de energía para cada uno de los usos, agrupando por equipos y/o procesos. Estimar uso y consumos futuros.	Evaluar usos significativos y proyectar utilización del recurso según uso y demanda actual.
Oportunidades de mejora	Proponer acciones que puedan impactar en mejorar la gestión del recurso.	Elaborar listado de oportunidades de mejora.

Tabla 4.4: Resumen modelo de revisión energética.

[1] Para realizar el diagrama de Pareto se deben ordenar los datos de mayo a menor y calcular sus porcentajes absolutos y porcentajes acumulados. Posteriormente graficar los datos en una gráfica de barras.
El eje X (variable independiente) es destinado para las causas, Eje Y izquierdo destinado para la frecuencia de cada causa y el eje Y derecho para el porcentaje acumulado.

4.2.5. Identificación de principales puntos de uso ineficiente

La identificación de los principales puntos de uso ineficiente de energía es realizado mediante:

- **Balance energético**: análisis cuyo resultado consiste en identificar cómo cada uno de los usos de energía (o procesos) de la planta aportan al consumo total. El balance permite ordenar de mayor a menor los macroprocesos internos que más aportan a la cuenta energética total.
- **Entrevistas con los colaboradores**: en paralelo al balance energético, es posible identificar mediante entrevistas y reuniones al personal, qué equipos o acciones del día a día son posibles de realizar con el mismo efecto pero con un menor consumo, así como entender más en detalle las oportunidades de mejora del desempeño energético de los procesos que más aportan a la cuenta energética total.

Sección 4.3

Diseño e implementación de requisitos del SGE

Los requisitos a diseñar e implementar son objetivos, metas, planes de acción energético, la línea base energética y los indicadores de desempeño energético. Estos últimos poseen como elemento de entrada la revisión energética y el análisis de brechas.

4.3.1. Línea de base energética

Para elaborar la LBE, se considera el protocolo sugerido por la ONUDI, basado en la norma ISO 50001 [12], el Protocolo Internacional de Medida y Verificación (2010) [28], y el uso de la herramienta de análisis de datos de Excel.

El modelo de regresión lineal para la LBE está compuesto de dos coeficientes: la pendiente y el intercepto con el origen de acuerdo con la ecuación 4.1.

$$E_t = m \cdot P + E_0 \tag{4.1}$$

Donde:

E_t : es el consumo de energía total.
E_0 : consumo fijo de los procesos.
P : variable independiente.
m : pendiente de la recta.

La LBE implementada considera los siguientes elementos, derivados de la revisión energética y análisis de brechas.

- **Facturas de energía**: se utiliza uno y/o dos años de historia de facturas para generar la línea base energética.
- **Fuentes de energía**: las fuentes de energía presentes en la planta de estudio son electricidad, gas y petróleo.
- **Usos de energía**: los usos de energía y equipos relacionados presentes son:

- Climatización: equipos que calefaccionan o enfrían los espacios de la planta.
- TICs: consiste en aquello que permite el uso de computadores, específicamente: servidores, impresoras, UPS, routers, entre otros.
- Iluminación: equipos generadores de luz visible.
- Operación: equipos involucrados en los macroprocesos productivos.
- Alimentación: artefactos utilizados para cocinar, calentar o enfriar alimentos.

4.3.2. Indicadores de desempeño energético

Los IDE, deberán proporcionar información relevante sobre el desempeño energético que permita a varios usuarios de una organización comprender su desempeño energético y tomar acciones para mejorarlo [15].

Los IDE se pueden aplicar a nivel de instalaciones, sistemas, procesos o equipos para proporcionar varios niveles de enfoque. Además, contribuyen a alcanzar un crecimiento económico sostenido en las organizaciones, bajo la temática de uso racional de recursos energéticos y económicos. Es posible hacer comparaciones de indicadores respecto a estándares nacionales o internacionales para los mismos productos o usos, en áreas o equipos.

Capítulo 5

Resultados y análisis

En esta Sección se presentan los resultados de este estudio, a saber sobre:

- **Revisión energética**, considerando la identificación de los principales usos ineficientes de energía en la planta ASMAR-V.
- **Diseño del SGE**, con sus respectivos requisitos implementados (LBE e IDE).
- **Propuestas de mejoras energéticas**.

Sección 5.1

Revisión energética

A continuación en esta Sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la revisión energética realizada en la planta ASMAR-V, principales datos para el diseño del SGE.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 2.11 se presentan los datos obtenidos en la siguiente estructura:

1) Datos de identificación de la planta y de la revisión energética realizada.
2) Datos de facturación de suministro y producción.
3) Curva de consumo anual.
4) Inventario de equipamiento dentro de la planta ASMAR-V.
5) Balance energético.
6) Indicadores energéticos globales obtenidos para poder comprender el estado general de la planta respecto del consumo de energía.
7) Análisis de uso energético para la determinación de principales puntos de consumo ineficiente en la planta y la identificación de oportunidades de mejoras en eficiencia energética.

Se debe mencionar que ASMAR-V hasta el año 2020 se encontraba con una tarifa de suministro AT 4.3 (cliente regulado). A contar del año 2021 se encuentra regido por una tarifa de suministro como cliente libre por los cuatro años próximos. Como ASMAR-V no cumple con el requisito de tener una potencia instalada igual o mayor a 500 kW se llegó a un acuerdo con la empresa de distribución (Chilquinta) que en un plazo de cuatro años incrementen su potencia instalada para poder renovar la tarifa de suministro como cliente libre.

Algunos detalles que se debe tener en consideración para la estimación energética: se considera el año 2021 como referencia para el consumo energético. La planta ASMAR-V posee un horario laboral productivo desde las 7:45 a.m. hasta las 5:15 p.m. de lunes a viernes y dependiendo de la carga laboral se realizan horas extras durante la semana y días sábados. A contar de las 5:59 p.m. y hasta las 10:01 p.m. (horario punta) comienza a funcionar el grupo electrógeno (G1: 500 kVA y G2: 750 kVA).

1) Datos de identificación de la planta

La Tabla 5.1 muestra información sobre el día y en donde se efectuó la auditoría energética. Por otro lado, la Tabla 5.2 muestra las personas responsables que efectuaron esta auditoría.

Centro	ASMAR Valparaíso
Fecha	9 febrero 2022
Tipo de centro	Astillero y Maestranza
Ubicación	Av. Altamirano # 1015, Valparaíso

Tabla 5.1: Datos de identificación auditoría.

Auditado por	Carlos Saavedra Cerna	Memorista
Supervisado por	Jorge Mendieta Altamirano	Supervisor subrogante
Autorizado por	Carlos Pérez Parra	Ingeniero de producción

Tabla 5.2: Personas responsables de la auditoría.

2) Facturación de suministro y horas hombre

Para identificar el consumo de energía eléctrica de la planta industrial de ASMAR-V se reunieron los datos mostrados en la Tabla 5.3. En la Tabla se entrega información sobre la facturación de suministro de los años 2020-2021 y las horas hombre (en adelante HH) mensuales de los mismos años como un indicador de productividad de la planta.

En cuanto a la facturación eléctrica de suministro se tiene registro de los meses enero 2020 a octubre 2021, para los cuales no se posee registro del costo total mensual. Solo se tiene el registro del valor de costos por venta de energía (no incluyen valores asociados a: sistema troncal, demanda punta, demanda máxima suministrada, penalizaciones, etc).

Como ya ha sido señalado, ASMAR se dedica a la reparación de embarcaciones, como también a la producción de piezas para los distintos requerimientos que puedan tener los clientes que acceden a sus servicios. Por tanto, intentar buscar un parámetro para medir la producción se hace complejo, ya que no existe un único producto o línea de producción concreta para medir. Debido a esto, ASMAR no tiene una variable de medición exacta de la producción, sino que hace un proyección estimada de las HH a necesitar mensualmente según la cantidad de proyectos que tenga la planta, entendiendo proyectos como cualquier requerimiento que pueda existir por parte de los clientes.

En Anexos A, las Figuras A.3 y A.4 muestran la información entregada por ASMAR-V de sus proyecciones de HH para los años 2020 y 2021.

Cabe señalar que durante los años 2020 y 2021 la planta ASMAR-V vio afectada su producción negativamente (debido a pandemia COVID y contingencia social), por consiguiente el consumo energético también se vio afectado.

	2020			2021		
Mes	**HH**	**Energía kWh**	**$ /kWh**	**HH**	**Energía kWh**	**$ /kWh**
Enero	28.134	70.500	70	27.487	68.817	35,82
Febrero	27.384	66.600	70	28.912	66.713	35,77
Marzo	30.679	91.500	70	31.959	83.759	35,96
Abril	30.949	74.100	70	28.349	81.295	35,04
Mayo	26.015	83.100	70	26.800	76.522	35,26
Junio	14.222	62.400	70	28.851	78.363	35,96
Julio	15.046	39.900	70	33.512	93.178	38,10
Agosto	34.555	85.500	70	36.513	108.175	39,59
Septiembre	36.525	105.300	70	32.198	86.107	39,78
Octubre	34.193	86.700	70	30.094	81.428	41,32
Noviembre	43.714	78.300	70	37.522	83.200	41,58
Diciembre	33.798	78.000	70	29.869	76.800	40,10

Tabla 5.3: Datos de facturación eléctrica y horas hombre utilizadas en producción.

3) Curva de consumo energético anual

La finalidad de la curva de consumo energético anual es dar información sobre el comportamiento del consumo durante el año e identificar las variables relevantes que inciden en él. Se debe mencionar que la única variable independiente estudiada fue la productividad proyectada en HH. Esta curva de consumo se genera a partir de la información obtenida de las facturas de suministro de energía de la planta (ver Tabla 5.3).

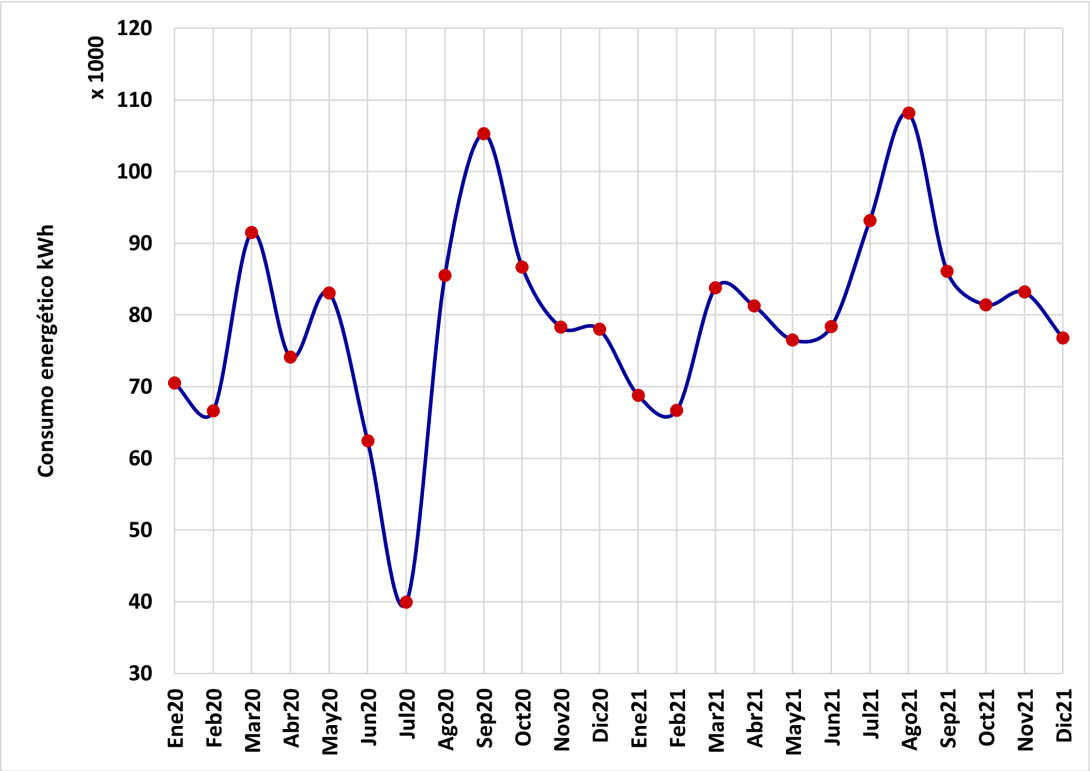


Figura 5.1: Consumo energético anual de electricidad ASMAR Valparaíso.

4) Inventario de equipamientos

De igual modo, utilizando la información facilitada y recopilada en las visitas a la planta, se realiza un inventario de los equipos que consumen energía en la planta. Para este análisis se tuvo en consideración la ubicación, cantidad, tipo de fuente, potencia nominal, uso de energía, factores de carga y el tiempo de uso promedio.

Con respecto a la localización de los equipamientos en el inventario se requiere de una zonificación de la planta (por talleres), que distinga de manera sencilla a que sector corresponde cada consumo energético. Adicionalmente, para este estudio se realizó una clasificación por uso de energía como se puede apreciar en la Tabla 5.4.

A partir del inventario, se puede estimar la cantidad de energía consumida por los equipamientos inspeccionados en un período de referencia (en este caso, se estimó el consumo de energía anualmente referido al año 2021).

Uso de energía	Equipamiento	Uso de energía	Equipamiento
Alimentación	Cocina	**Operación**	Afiladora
	Congelador		Banco de pruebas
	Hervidor		Banco protecciones
	Microondas		Barrenadora
	Refrigerador		Barniz
Climatización	Aire acondicionado		Bobinadora
	Calefactor		Bruñidora
	Cálefon		Cepilladora
	Secador de manos		CNC maple y SNEC
	Estufa		Compresor
Iluminación	Foco campana		Extractor
	Luces oficina		Grupo electrógeno
	Luces pasillos		Hornos
	Luces taller		HPR Plasma
	Luces de emergencia		HVAF
TICs	Computador		Puente grúa
	Impresora		Puesto de soldadura
	Equipo de música		Pulidora hidráulica
	Monitor LED		Serrucho
	Proyectores		Sierra
	Servidores		Taladro
	UPS		Tornos

Tabla 5.4: Tipología considerada para la clasificación de equipamiento en el inventario.

5) Balance energético

La energía estimada se contrasta con el valor del consumo energético registrado en la facturación de suministro correspondiente al período de referencia, aceptándose la estimación si se incurre en un error menor a un umbral determinado, E_0. En este caso se utilizó un $E_0 = 5\,\%$.

Una vez ajustada la estimación del consumo energético, es decir, a partir del inventario de equipamientos se vuelve a revisar los consumos energéticos para cada equipamiento para volver a calcular el error E_0 hasta obtener un valor inferior al umbral. Dicho umbral de error se estableció en conjunto con el correferente en 5 %. Se obtiene un balance energético, que caracteriza el consumo energético de cada sector de la planta. A partir de este balance energético y la

información levantada inicialmente, se desprende un análisis de uso y suministro de energía, dando lugar posteriormente a la detección de oportunidades de mejora.

La Figura 5.2 presenta la distribución del consumo energético anual por tipo de fuente de energía durante el año 2021. Información obtenida luego de analizar los datos de suministro estimados para los tres tipos de fuentes de energía detectadas: electricidad, gas y petróleo.

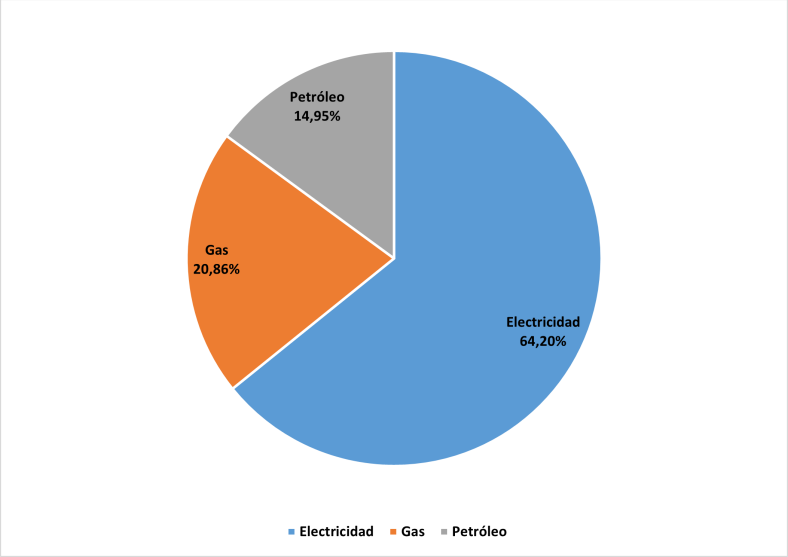


Figura 5.2: Consumo energético total anual por tipo de fuente energética.

En la Tabla 5.5 se presentan valores de suministro facturado y estimado para el año 2021. Estos datos estimados son comparados con los valores reales facturados y se espera que no sobrepasen el umbral de error para validar la aproximación.

Consumo energético	Suministro facturado kWh/año	Consumo estimado kWh/año	Error %
Electricidad	984.357	1.004.143	2,01
Gas	331.211	326.237	-1,50
Petróleo	238.831	233.803	-2,11
Total	1.554.399	1.564.183	-

Tabla 5.5: Resumen balance energético.

El error absoluto entre los datos de suministro y la estimación del consumo energético es inferior a 5 %, por lo que se acepta la estimación del consumo. Se debe agregar que los datos de consumo energético tanto facturado como estimado para gas y petróleo son aproximados y proyectados en base a un estudio realizado en el año 2020 [5].

6) Indicadores energéticos globales

Con la finalidad de orientar los indicadores de desempeño energético a las estrategias de la organización, se encontró que, si bien ASMAR-V cuenta con una política corporativa que establece su compromiso con la calidad y con la protección del medioambiente, esta no está directamente orientada en una política energética y no existen metas actuales de reducción de consumo de energía. La AgenciaSE [11] señala que aquellos indicadores globales de desempeño energético deben ser propuestos por la Alta Dirección al momento de comenzar a implementar

un SGE. Es esta la que debe definir los alcances y metas que desea lograr en su desempeño energético.

En la Tabla 5.6 se proponen algunos indicadores globales de acuerdo a la revisión energética realizada.

IDE	Valor	Unidad
Energía anual consumida	984.357	kWh
Densidad de energía[2]	24,61	kWh/m^2
Consumo per capita	2.942,04	kWh/trabajador
Consumo por producción	2,65	kWh/HH
Costo total [3]	37.389.203	$
Costo por energía [3]	37,86	$/kWh
Energía anual auditada	1.004.142,64	kWh
Error de la auditoria	2,01	%

Tabla 5.6: Propuesta de indicadores iniciales de desempeño energético globales de la planta ASMAR Valparaíso.

7) Análisis de uso energético

Esta Sección se confeccionó a partir de los resultados obtenidos en la Sección 4.2.4. Para esto se analizó la información, identificando los consumos más relevantes de la planta y zonificación mediante la descomposición del consumo energético por talleres.

La Figura 5.3 presenta la distribución del consumo energético anual por uso energético durante el año 2021. Los usos energético de la planta corresponden a: operación, climatización, alimentación, tecnologías de información y comunicaciones (en adelante TICs) e iluminación.

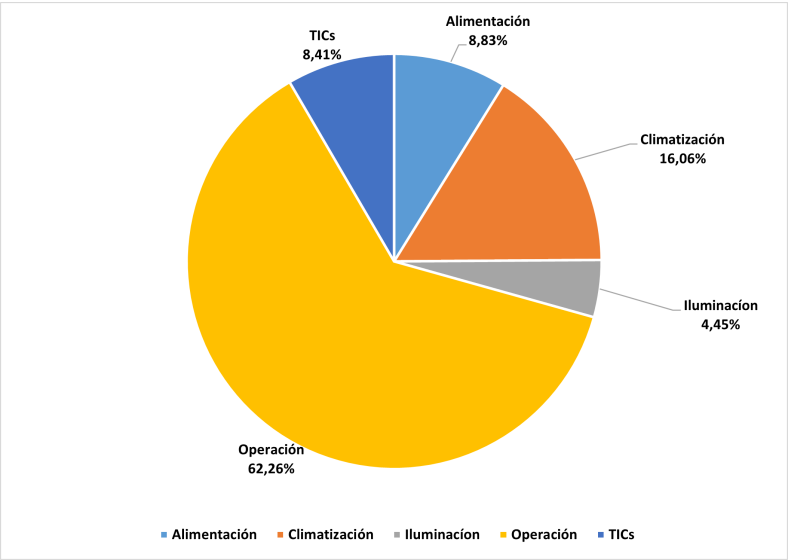


Figura 5.3: Consumo energético total anual por uso energético.

[2]Superficie de ASMAR Valparaíso estimada en 40.000 m^2.

[3]Costos de venta por energía, sin incluir sistema troncal, demanda punta, demanda máxima suministrada, penalizaciones, etc.

De la cuantificación de la información mostrada en la Figura 5.3 se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- **Operación:** Representa los consumos más importantes de ASMAR con un 62,26 % del consumo energético total (70,66 % del consumo energético total de electricidad). Correspondiendo mayoritariamente al uso de compresores, uso de grupo electrógeno, HVAF, hornos (eléctricos y diésel), extractores y herramientas variadas.
- **Climatización:** Representa el 16,06 % del consumo energético total (5,45 % del consumo total de electricidad). Correspondiendo a habitabilidad, es decir, el uso de cálefon (o caldera), aire acondicionado, secador de manos y calefacción.
- **Alimentación:** Representa el 8,83 % del consumo energético total (3,86 % del consumo energético total de electricidad). Correspondiendo principalmente a los equipamientos ubicados en el casino de la planta: cocinas, congeladores, refrigeradores, microondas entre otros.
- **TICs:** Representa el 8,41 % del consumo energético total (13,10 % del consumo energético total de electricidad). Correspondiendo a los equipamientos de ofimática: computadores, servidores, impresoras, proyectores, monitores, etc.
- **Iluminación:** Representa el 4,45 % del consumo energético total (6,93 % del consumo energético total de electricidad). Correspondiendo a la iluminación general de talleres, oficinas y pasillos.

Otro rasgo que se desprende de la energía auditada es el diagrama de Pareto. Esta técnica se basa en el principio de Pareto o regla 80/20, la cual establece una relación de correspondencia entre los grupos 80-20, donde el 80 % de las consecuencias son el resultado del 20 % de las causas. Entonces permite identificar los USE que explican el 80 % del consumo energético en la planta. La correcta identificación de estos USE, permite focalizar el destino de los recursos hacia los procesos o equipamientos ineficientes y así lograr mejoras concretas en el desempeño energético.

En la Figura 5.4 y Figura 5.5 se muestran los diagramas de Pareto correspondientes a tipo de fuente energética y uso energético según corresponde.

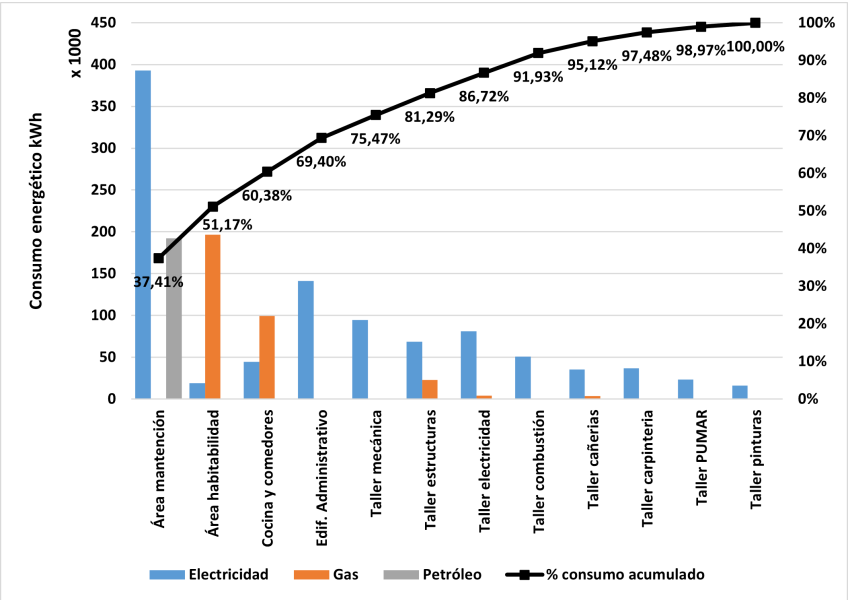


Figura 5.4: Diagrama de Pareto por tipo de fuente energética.

De la Figura 5.4 se desprende que el área de mantención, habitabilidad, cocina y comedores, edificio administrativo, taller de mecánica y taller de estructuras concentran el 80 % del consumo energético total de la planta. Los cuales corresponden a los consumos más representativos, y por ende las áreas con altos potenciales de mejora en el desempeño y ahorro energético.

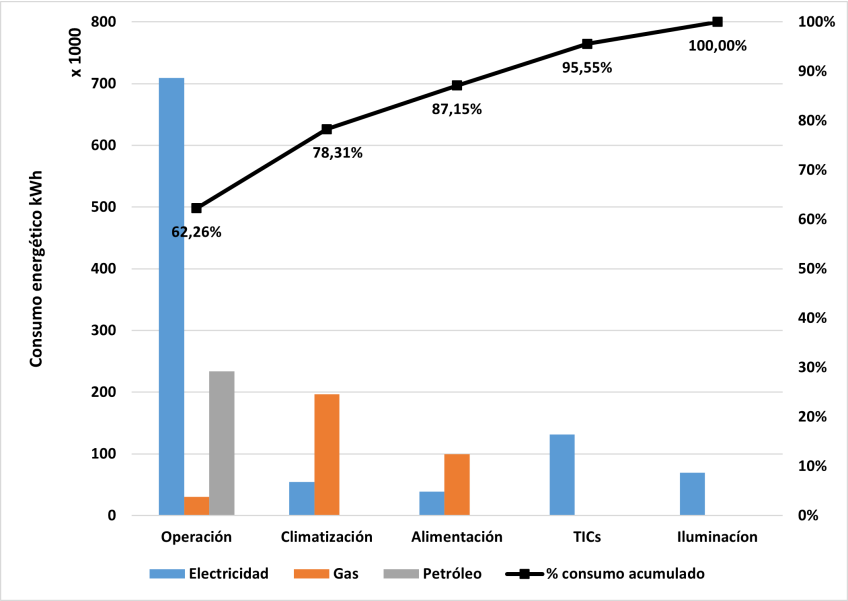


Figura 5.5: Diagrama de Pareto para uso energético.

Por otra parte, la Figura 5.5 se observa que el 80 % del consumo energético total de la planta comprende los usos de operación, climatización y alimentación. Al igual como se señaló anteriormente en la Sección 2.6, estos usos energéticos son los que presentan de forma significativa el mayor potencial de mejora. Y es recomendado destinar los recursos humanos, tecnológicos y financieros a estos usos energéticos para mejorar el desempeño energético.

7.1) Usos de energía que más impactan en el desempeño energético

Con base en la auditoría de esta revisión energética, se muestran los consumos energéticos que más aportan, desde la perspectiva del análisis de diagrama de Pareto, al 80 % del consumo energético total (véase Figura 5.5).

Respecto a los procesos que más consumen energía en la planta ASMAR-V, el uso más intensivo en consumo energético es operación con un 62,26 %, seguido de climatización con 16,06 % y alimentación con 8,83 % representando más del 80 % del consumo energético total de la planta, considerando los tres tipos de fuentes de energía.

Lo intensivo del uso viene explicado porque operación considera la mayor parte del consumo energético debido a los equipamientos utilizados para realizar las distintas tareas, sumado a esto, el permanente uso de los compresores, el HVAF, el grupo de generadores de respaldo, siendo estos los equipos dentro de la planta que mayor consumo energético demandan. Por otro lado, climatización y alimentación concentran grandes consumos de gas, principalmente utilizado como fuente de energía para el calentamiento de agua sanitaria, funcionamiento de cocinas y hornos. Finalmente, y no menos importante, TICS e iluminación son una carga permanente, debido a ofimática, alumbrado dentro y fuera del recinto.

De forma resumida para cada área, los usos de energía que más aportan al 80 % del consumo energético de ASMAR-V respecto al tipo de fuente de energía son:

- **Electricidad:** operación (70,66 %) y TICs (13,10 %).

- **Gas:** climatización (60,21 %) y alimentación (30,46 %).
- **Petróleo:** operación (100 %).

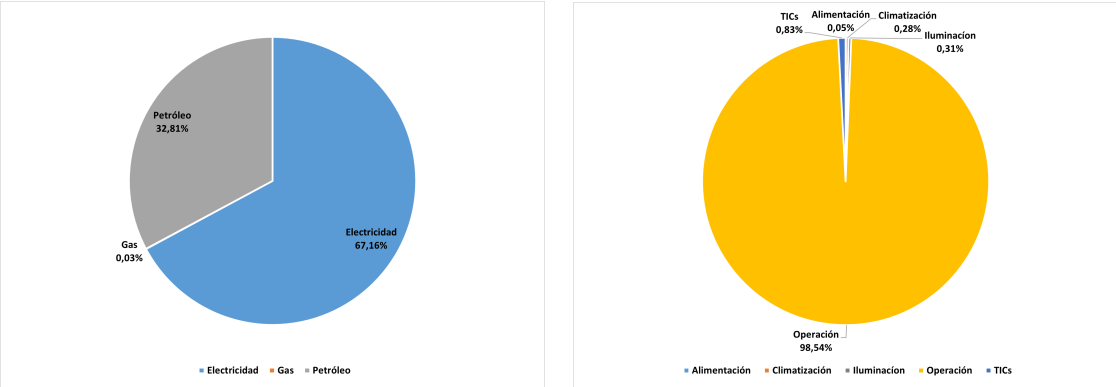
7.2) Análisis específico

Se presentan a continuación los resultados de uso energético y tipo de fuente de energía para cada área.

- **Área de mantención**

  Esta área representa el 37,41 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 98,54 % está asociado a operación y el 1,46 % restante asociado a TICs, iluminación, climatización y alimentación. Dentro de los tipos de fuente se detecta electricidad con 67,16 %, petróleo con 32,81 % y un consumo menor de gas.

  A esta área se le asignó la ubicación de los dos compresores y los dos generadores diésel de respaldo. Por lo tanto, es el área que concentra el mayor consumo energético de la planta, en uso de electricidad y petróleo.



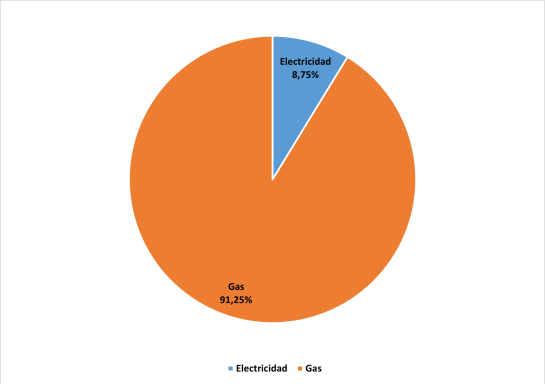
(a) Consumo energético por fuente energética.

(b) Consumo energético por uso energético.

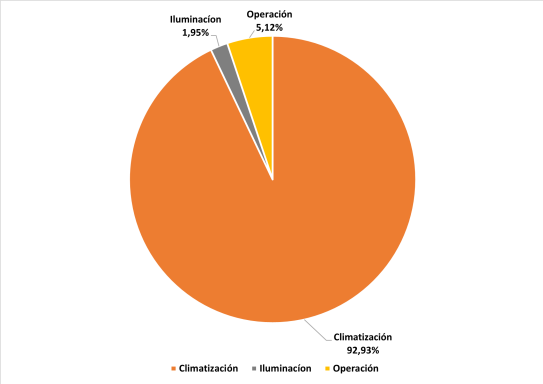
Figura 5.6: Consumo energético para el área de mantención.

- **Área de habitabilidad**

  Esta área representa el 13,76 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 92,93 % está asociado a climatización, un 5,12 % a operación y un 1,95 % a iluminación. Además, se concentra el mayor consumo de gas licuado de la planta equivalente a 60,21 %, principalmente al uso de caldera y calefón para calefacción de agua caliente sanitaria.



(a) Consumo energético por fuente energética.



(b) Consumo energético por uso energético.

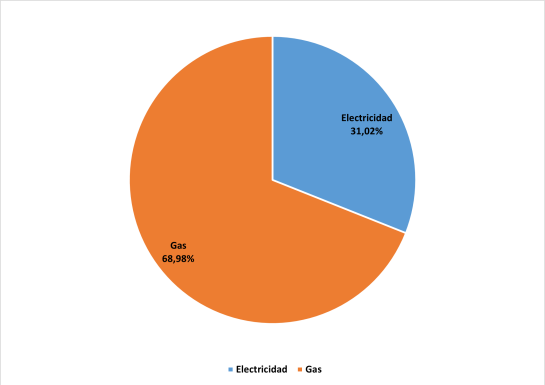
Figura 5.7: Consumo energético para el área de habitabilidad.

Se desconoce el equipamiento utilizado para la calefacción de agua sanitaria. No obstante, el tipo de fuente de energía utilizada principalmente es gas. Los baños designados a taller de electricidad y electrónica poseen calderas eléctricas.

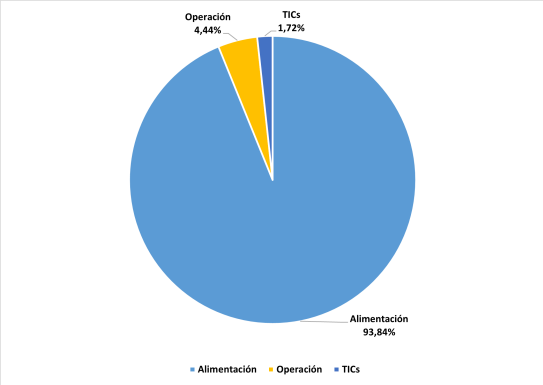
- **Cocina y comedores**

  Esta área representa el 9,21 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 93,84 % está asociado a alimentación, un 4,44 % a operación y un 1,72 % a TICs. Además, se concentra un consumo de gas licuado equivalente al 30,46 % del consumo total de gas licuado en la planta, principalmente debido al consumo de las cocinas y hornos a gas.

  Debido a que esta área se encuentra al interior (entre el edificio administrativo y taller de mecánica), la iluminación se consideró parte del edificio administrativo.



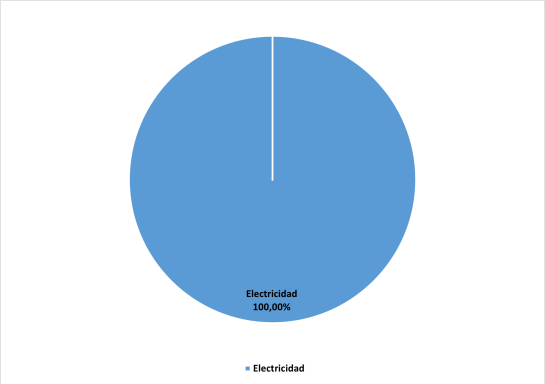
(a) Consumo energético por fuente energética.



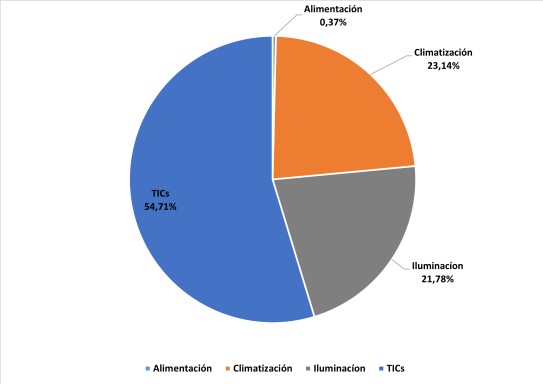
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.8: Consumo energético para el área de cocina y comedores.

- **Edificio administrativo** Esta área representa el 9,02 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 54,71 % está asociado a TICs, un 23,14 % a climatización, un 21,78 % a iluminación y un 0,37 % alimentación. Asociados principalmente a equipamientos de ofimática, aire acondicionado y luminaria.



(a) Consumo energético por fuente energética.



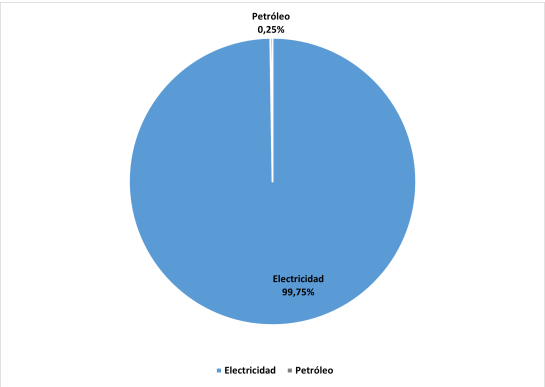
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.9: Consumo energético para el edificio administrativo.

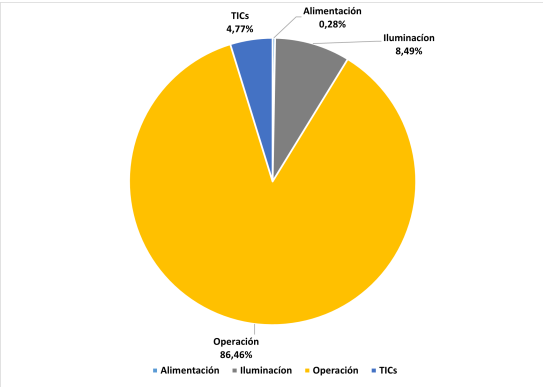
- **Taller de mecánica**

  Esta área representa el 6,07 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 86,46 % está asociado a operación, un 8,49 % iluminación y un 4,77 % a TICs.

  Los grandes consumos detectados son debido al uso permanente (en horario laboral) de tornos, rectificadora y puente grúa. En esta área también se consideró el consumo energético proveniente de las oficinas ubicadas en la nave central.



(a) Consumo energético por fuente energética.



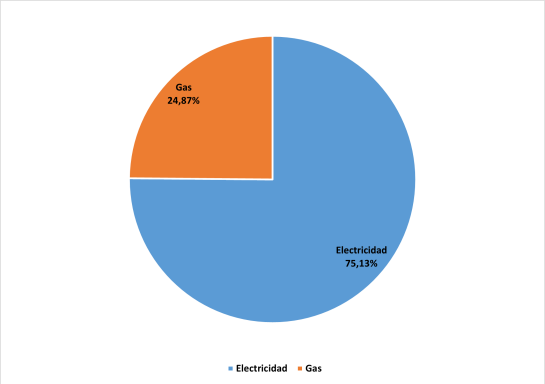
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.10: Consumo energético para el taller de mecánica.

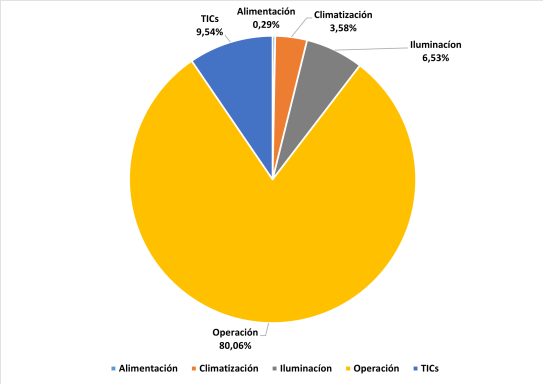
- **Taller de estructuras**

  Esta área representa el 5,82 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 80,06 % está asociado a operación, un 9,54 % TICs, un 6,53 % iluminación y 3,58 % climatización.

  En lo que respecta a electricidad los principales consumos energéticos corresponden a el HVAF, los puente grúa y puestos de soldadura. Por otro lado, el consumo energético principalmente de gas es producto de la cortadora de precisión HPR 400XD Plasma.



(a) Consumo energético por fuente energética.



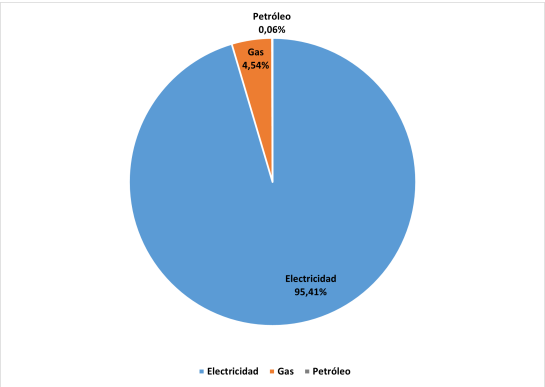
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.11: Consumo energético para el taller de estructuras.

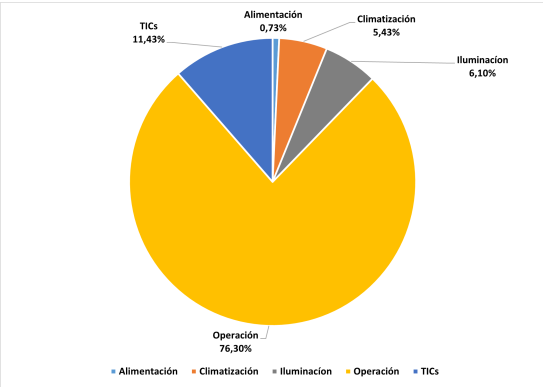
- **Taller de electricidad**

  Esta área representa el 5,43 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 76,30 % está asociado a operación, un 11,43 % TICs, un 6,10 % iluminación, un 5,43 % climatización y 0,73 % alimentación.

  Los mayores consumos energéticos de esta área son el uso de dos hornos eléctricos y bancos de prueba de motores en lo que respecta a electricidad. Luego le sigue el uso de gas enfocado a soldaduras de bobinados, y por último el consumo de petróleo asociado a hidrolavadora manual y movilización.



(a) Consumo energético por fuente energética.



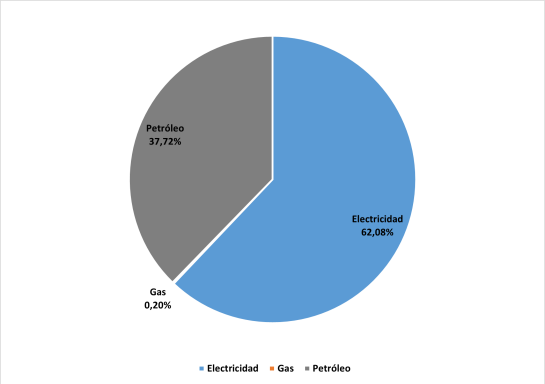
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.12: Consumo energético para el taller de electricidad y electrónica.

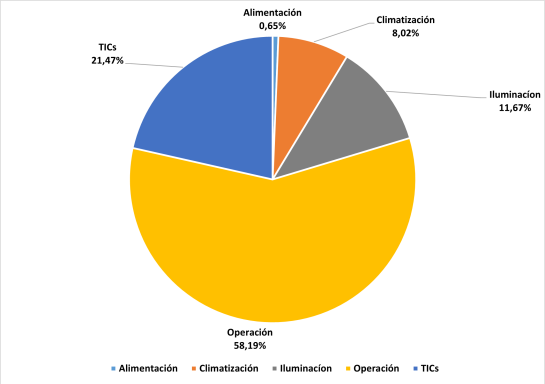
- **Taller de combustión interna y movilización**

  Esta área representa el 5,21 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 58,19 % está asociado a operación, un 21,47 % TICs, un 11,67 % iluminación, un 8,02 % climatización y 0,65 % alimentación.

  En lo que respecta a electricidad, variedades de equipamiento de consumo eléctrico, hidrolavadora y puente grúa. Por otro lado, en lo que respecta a petróleo el consumo energético se concentra principalmente en equipos a diésel y para movilización.



(a) Consumo energético por fuente energética.



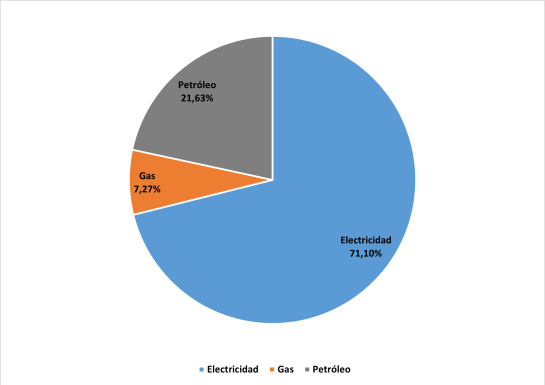
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.13: Consumo energético para el taller de combustión interna y movilización.

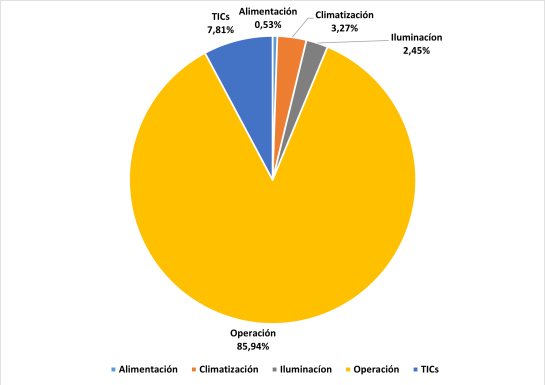
- **Taller de cañerías y soldadura**

  Esta área representa el 3,19 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 85,94 % está asociado a operación, un 7,81 % TICs, 3,27 % climatización, 2,45 % iluminación, y 0,53 % alimentación.

  En lo que respecta a electricidad, el consumo energético está dado por el uso de puentes grúa, guillotina, curvadora de cañería y herramientas varias. Por otra parte, lo que respecta a diésel y gas, está dado por los hornos y puestos de soldaduras, respectivamente.



(a) Consumo energético por fuente energética.



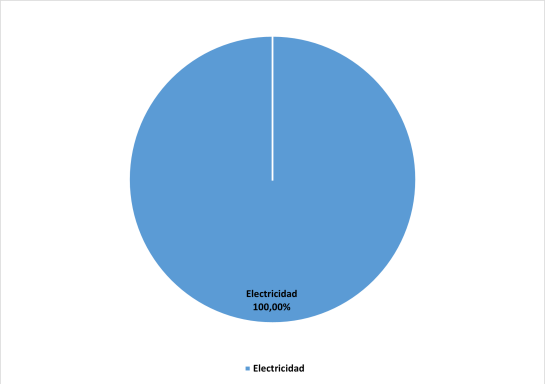
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.14: Consumo energético para taller de cañerías y soldaduras.

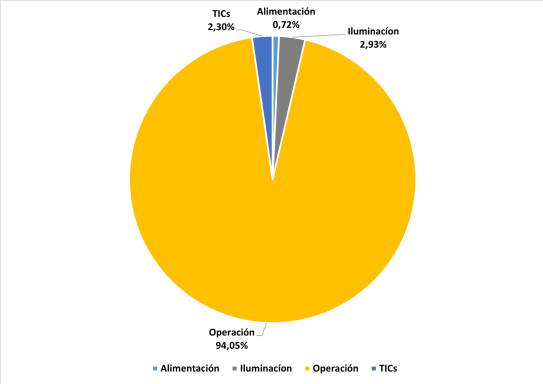
- **Taller de carpintería**

  Esta área representa el 2,35 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 94,05 % está asociado a operación, 2,93 % iluminación, 2,3 % TICs, y 0,72 % alimentación.

  Enfoca su consumo energético en su totalidad a base de electricidad, utilizando variados tipos de herramientas, extractores, cepillos y tornos carpinteros.



(a) Consumo energético por fuente energética.



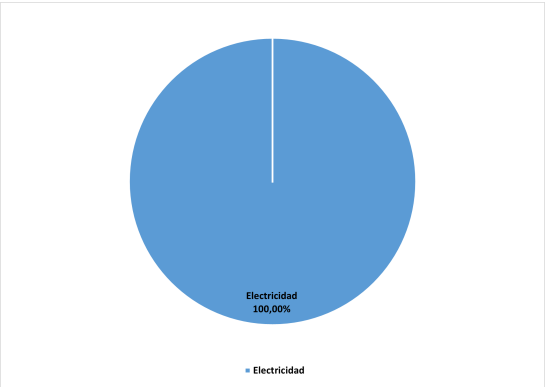
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.15: Consumo energético para taller de carpintería.

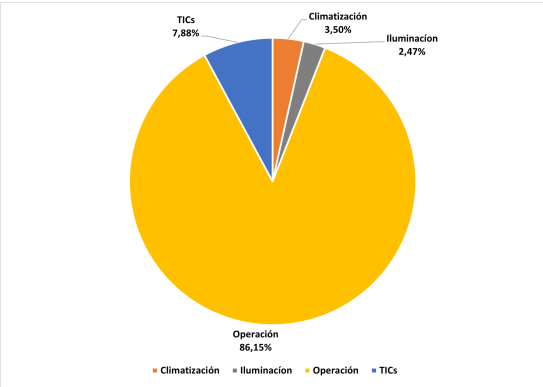
- **Taller PUMAR**

  Esta área representa el 1,49 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 86,15 % está asociado a operación, 7,88 % TICs, 3,50 % climatización, 2,47 % iluminación.

  De igual forma que el taller de carpintería, el taller PUMAR enfoca su consumo energético en su totalidad a base de electricidad. Destacándose el consumo energético de una variedad de herramientas para las tareas realizadas, extractores y aire acondicionado.



(a) Consumo energético por fuente energética.



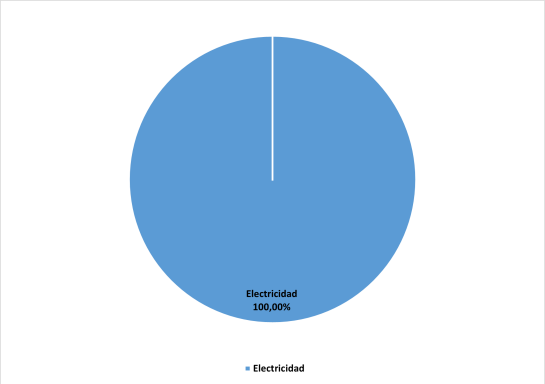
(b) Consumo energético por uso energético.

Figura 5.16: Consumo energético para taller de botes PUMAR.

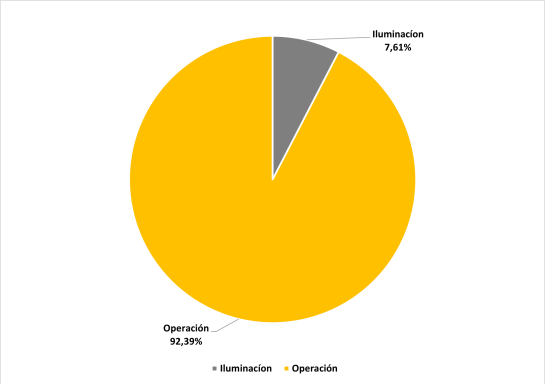
- **Taller de pinturas y granallado**

  Esta área representa el 1,03 % del consumo energético total de la planta, de los cuales un 92,39 % está asociado a operación, y 7,61 % iluminación.

  Es el taller con menos consumo energético dentro de la planta ASMAR-V. Esto es debido a la poca variedad de herramientas que se utilizan, y al realizar tareas que requieren de poca energía en comparación a los demás procesos.



(a) Consumo energético por fuente energética.



(b) Consumo energético por uso energético

Figura 5.17: Consumo energético para taller de pinturas y granallado.

7.3) Oportunidades de mejora energética detectadas

En concordancia con el análisis de suministro y uso energético anterior se detectaron oportunidades de mejora en los consumos más significativos de la planta.

Se debe mencionar que los potenciales ahorros están asociados a los consumos energéticos realizados por hornos, compresores, también por climatización, tanto para calefacción y abastecimiento de agua caliente. No obstante, la información que se muestra en este estudio se hace basado en valores referenciales de la bibliografía consultada y discusión con el ingeniero correferente, para porcentajes de ahorros como cambios en generación y tecnología. Por lo que, estudios más acabados y con mejor información de la planta se pueden determinar ahorros más específicos que los consumos energéticos obtenidos. Este estudio puede tomarse como guía y orientación para la implementación del SGE.

Electricidad

- Operación
  1. Realizar capacitaciones (antes, durante y después de la puesta en marcha de los aparatos y equipamientos) al personal en el uso eficiente de la energía que alimenta a cada uno de los equipos que se utilizará.
  2. Verificar constantemente las líneas de aire comprimido existentes en la planta y reparar las fugas inmediatamente después de ser detectadas. Mantener la zona seca y fresca a fin de minimizar el trabajo que este debe realizar.
  3. Ver la factibilidad de utilizar el calor sobrante de la refrigeración de los compresores.
  4. Verificar la correcta regulación del exceso de aire, en base al tipo de combustible utilizado en hornos de secado, debido a que existen hornos a diésel y eléctricos. En cuanto a los dos hornos del taller de electricidad, verificar el aislamiento térmico y parámetros de operación.
  5. Se recomienda la monitorización energética con medidores inteligentes en tableros generales de cada taller con la finalidad de iniciar una zonificación de consumos por área. En la realidad no todos los talleres poseen un tablero general, pero en caso de existir, monitorear el consumo eléctrico.

6. Utilizar variadores de frecuencia para disminuir la potencia de arranque de motores mediante curva de arranque controlada por rampa.
7. Planificación y gestión de mantenimiento preventivo de motores de puentes grúas. En lo posible utilizar motores de alta eficiencia.
8. Implementación de un sistema fotovoltaico. Aprovechando áreas de estacionamientos, techumbre u otros espacios disponibles con alta radiación.
9. Desenchufar aparatos que no se estén utilizando.

- Climatización
  1. Inspeccionar los aparatos de aire acondicionado y realizar mantenimientos preventivos. Evitar pérdidas (o ganancias) de calor y entrada de humedad a salas que son acondicionadas.
  2. Verificar la aislación térmica de las instalaciones, específicamente en oficinas. Por ejemplo, termopanel en las ventanas, tragaluces, etc.
  3. Revisar el sistema de control de temperatura en calderas eléctricas o gas, para evitar excesivas pérdidas de calor cuando la caldera está en posición de espera, y también la revisión periódica de forma que se mantenga funcionando en sus niveles óptimos de rendimiento.
  4. Los sistemas de caldera son automáticos y usan energía en función de la demanda. Por lo tanto, lo mejor es hacer una campaña educativa para usar el agua caliente solo si es necesario.
  5. Implementación de aislación térmica en baños y cambiadores.
  6. Implementar perlizadores de agua en grifos y cabezal de duchas.
- TICs
  1. Evitar dejar los equipamientos de ofimática prendido en caso de no estar utilizándolos.
  2. Evitar de imprimir en forma separada e intentar imprimir varios archivos o documentos a la vez.
- Iluminación
  1. Recambio de toda la luminaria por LED, balastros electrónicos o fluorescentes de bajo consumo.
  2. Incorporar temporizadores/detectores de presencia en iluminación de zonas auxiliares.
  3. Regular el tiempo de uso de la luminaria aprovechando de mejor manera la luz natural tanto interior como exterior.
  4. Realizar campaña educativa para promover el consumo consciente de iluminación, recordando apagar las luces en recintos no utilizados.
  5. Mantenimiento para evitar deterioro, polvo y suciedad acumulada en las luminarias.
  6. Implementar luminaria exterior con paneles solares.

Gas

- Climatización

1. Factibilidad de acceder a un sistema tarifario de gas licuado.
2. Sistema de medición de gas.
3. Al igual que las calderas eléctricas, se recomienda revisar el sistema de control de temperatura en calderas a gas para evitar excesivas pérdidas de calor cuando la caldera está en posición de espera, y también la revisión periódica de forma que se mantenga funcionando en sus niveles óptimos de rendimiento.
4. Los sistemas de caldera son automáticos y usan energía en función de la demanda. Por lo tanto, lo mejor es hacer una campaña educativa para usar el agua caliente solo si es necesario.
5. Implementación de aislación térmica en baños y cambiadores.
6. Minimizar todas las fugas de agua caliente con un mantenimiento apropiado de las conducciones, los grifos de duchas y lavamanos.
7. Evitar temperaturas de almacenamiento muy altas, con el fin de limitar las pérdidas.
8. Instalación de sistema de bajo consumo en duchas y baños, sin reducción de la calidad de suministro.
9. Implementación de calentadores solares.

Petróleo

- Operación:

  Ver la factibilidad de suplir porcentualmente el grupo electrógeno por un sistema fotovoltaico con almacenamiento.

Sección 5.2
Diseño del Sistema de Gestión de la Energía

5.2.1. Objetivo del SGE

El diseño del SGE posee los siguientes objetivos:

- Describir las responsabilidades del personal de ASMAR y sus distintos centros con impacto el SGE, así como los procedimientos utilizados por el mismo para el control de documentos, auditorías internas, acciones correctivas y revisiones periódicas por parte de la dirección.
- Establecer una política energética clara, con compromisos y objetivos a cumplir por parte la dirección.
- Describir continuamente el estado actual del desempeño energético y establecer un marco de gestión para planes de acción con el objetivo de mejorarlo (realizando seguimiento operativo de los planes, verificando sus resultados y documentando lecciones aprendidas) en línea con la política energética y considerando los ejercicios de análisis de brechas, revisión y auditoría energética sobre el alcance del SGE.

5.2.2. Alcance del SGE

El alcance del presente SGE corresponde a todos las instalaciones y procesos que consuman energía (así como sus responsables directos e indirectos) de la planta ASMAR-V.

5.2.3. Responsabilidades y Política energética

1) Roles y responsabilidades

La Alta Dirección será representada por:

- Directorio de ASMAR.

Sus responsabilidades serán:

- Demostrar su compromiso con el SGE mediante la implementación y mantenimiento de una política energética.
- Manifestar su compromiso con el SGE mediante su promoción y participación en instancias de gestión referentes al mismo.
- Designar al representante de la Alta Dirección y aprobar la creación de un equipo de gestión de la energía, así como la fijación de incentivos sobre el equipo ante el cumplimiento de los objetivos y metas energéticas para el SGE.
- Establecer los objetivos y metas energéticas para el SGE, a nivel de indicadores de desempeño energético como a nivel cualitativo y de gestión.
- Proporcionar los recursos necesarios humanos, tecnológicos y financieros para mantener el SGE, además de, cumplir con los compromisos de la política energética y objetivos energéticos planteados.
- Revisar con periodicidad mensual (en la reunión mensual de seguimiento del SGE) los aspectos de implementación de planes de acción para el cumplimento de los objetivos y metas.
- Revisar con periodicidad anual (y en situaciones extraordinarias) la política energética, los planes de acción y lecciones aprendidas de su implementación en el año anterior, así como todas las fases de SGE (en la revisión de la Alta Dirección).

Respecto del equipo de gestión de la energía este estará compuesto por:

- Un representante de la Alta Dirección: perfil a cargo de transmitir la importancia de los compromisos adquiridos en la política energética y de la implementación / mantención del SGE; así como supervisar a más alto nivel cada una de las fases del SGE.
- Un responsable energético: es quien lidera en su definición técnica e implementación de cada una de las fases del SGE, para el cumplimiento de objetivos y metas. Específicamente lidera técnicamente la planificación, ejecución y verificación del SGE y participa de la revisión de la Alta Dirección.
- Un representante para gestor energético: persona que se dedica a implementación de las fases de ejecución y verificación, según lo definido por el(la) responsable energético(a) y participa de la revisión de la Alta Dirección.

Responsabilidades del representante de la Alta Dirección

En el caso del(la) representante de la Alta Dirección, el perfil será asignado por la misma; cuidando que la persona escogida para representarla tenga las competencias necesarias para cumplir las siguientes responsabilidades:

- Identificar y gestionar a las personas competentes para que le ayuden con todas aquellas actividades que tengan relación con la gestión de la energía y el cumplimiento de los objetivos y metas, siempre con la autorización de la Alta Dirección.
- Definir responsables y garantizar capacitación en las diferentes competencias necesarias para el cumplimiento de la política energética y facilitar la gestión eficaz de la energía.
- Promover la toma de conciencia de la política energética y de los objetivos en todos los niveles de la organización.
- Aprobar la auditoría interna del SGE, comunicar y asesorar a los responsables de tratar no conformidades los hallazgos encontrados.

Responsabilidades del responsable energético

El(la) responsable energético debe presentar competencias para llevar a cabo las siguientes funciones:

- Liderar la definición de necesidades, propuesta, diseño e implementación de planes de acción energéticos, así como cualquier otra acción relacionada al cumplimento de los objetivos y metas energéticas planteados por la Alta Dirección.
- Desarrollar la planificación del SGE y presentar planes de acción (también conocidos como medidas de eficiencia energética, o por sus siglas MEE) a la Alta Dirección.
- Liderar técnicamente la implementación de planes de acción, guiando al gestor(a) energético(a).
- Liderar la ejecución del SGE, articulando con los diferentes actores cada uno de los elementos de la misma, a saber: concientización y capacitación, comunicación entre grupos de interés, control operacional del desempeño energético, asesoría en diseño y adquisiciones que afecten a los objetivos y metas y, liderar la reunión de seguimiento del SGE.
- Seguimiento y mitigación de riesgos referentes a la implementación efectiva de medidas de eficiencia energética.
- Generar visualizaciones y reportes con los datos de IDE y, por otra parte, IDE de seguimiento de implementación de MEE al representante de la Alta Dirección.
- Liderar y, cuando corresponda, ejecutar la capacitación del personal en tópicos de gestión energética, medidas para la reducción del consumo para cada USE.

Responsabilidades del gestor energético

El(la) gestor energético debe presentar un perfil adecuado para el cumplimento de las siguientes responsabilidades:

- Comprender los principios físicos e ingenieriles de los equipos utilizados en cada uso energético dentro del alcance del SGE.
- Implementar y poner en marcha los planes de acción, junto a especialistas externos, en los diferentes usos de energía de la planta.

- Ejecutar la revisión energética y auditoría de ser considerado necesario por el(la) responsable energético.
- Ejecuta, cuando el(la) responsable energético lo requiera, la capacitación del personal en temas de gestión energética y medidas para la reducción del consumo.
- Realiza el control operacional y la asesoría en diseño y adquisiciones dentro del alcance del SGE que afecten al desempeño energético.
- Ejecuta los planes de seguimiento, medición y análisis dentro del SGE.

2) Política energética

La planta ASMAR-V es consciente de que el cumplimiento de su misión y objetivos implica que debe ser lo más eficiente posible con los recursos que utiliza, y que se debe minimizar los impactos negativos que sus operaciones generan al ser una empresa con un consumo considerable a nivel país. En el marco regulatorio de la Ley 21.305 de eficiencia energética, ASMAR-V debe realizar el reporte de información de consumos por uso de energía e intensidad energética.

El uso eficiente de los recursos energéticos es un pilar fundamental para satisfacer lo que sus clientes esperan de ellos y ser sustentables con el medioambiente. Por ello, con el fin de lograr una mejora continua del desempeño energético, ASMAR contará con objetivos y metas en sus operaciones en el marco de un SGE, basado en la norma ISO 50001.

Se apuesta por mejorar el desempeño energético a través de los siguientes compromisos medibles:

a) Mejorar continuamente el desempeño energético.

b) Fomentar el uso eficiente de la energía y el ahorro energético en sus instalaciones.

c) Implementar nuevas tecnologías y mejorar las existentes para consumir energía en las instalaciones de manera más eficiente.

d) Mejorar los hábitos de consumo de energía por parte de los trabajadores y personal pertenecientes a la organización.

e) Asegurar la disponibilidad de información y recursos, tanto al personal como a la comunidad según corresponda, para lograr los objetivos y metas energéticas.

5.2.4. Planificación del SGE

El equipo de gestión de la energía tiene la responsabilidad, una vez al año, de generar la planificación del SGE, consistente en responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuánta energía consumió la organización el año anterior? ¿Qué variables influyeron en el consumo? ¿Cuáles usos aportaron más al consumo energético? (levantamiento de la LBE mediante una revisión energética).
- ¿Qué indicadores pueden utilizarse para medir el desempeño energético?.
- ¿Cuál será el desempeño energético? y ¿Qué y quiénes realizarán las acciones necesarias para alcanzarlo?

Nota: Para responder estas preguntas, debe realizarse de manera anual la revisión energética y construirse el informe anual de revisión energética y análisis de brechas, tomando como plantilla la Sección 2.6.

5.2.5. Línea base energética

Con la información obtenida en la revisión energética se buscará identificar las variables que afectan el consumo de energía, como por ejemplo la productividad. Para este caso se utilizará una regresión lineal, permitiendo entender cuanto influye la variable independiente en el consumo de energía.

Para elaborar la LBE se considera la metodología descrita en la Sección Anexo D.2. Se considera además, dos escenarios: el primer escenario considera los datos de facturación eléctrica de los años 2020 y 2021 por separado; el segundo escenario considera los dos años como un solo período, de forma tal de conseguir el promedio de ambos períodos que se han visto afectado por pandemia COVID, contingencia social y cambio de tarifa de suministro.

Primer escenario: estadística 2020 - 2021 por separado

1) Definición del período base:

El período base definido es anual, es decir, se considera 12 datos para los años 2020 y 2021, respectivamente.

2) Definición de la muestra de datos mínima:

Utilizando la ecuación 5.1 para datos mínimos y con sus respectivos supuestos ($z = 1{,}96$ para un 95 % de confianza; $e = 5\,\%$; $cv = 0{,}5$ estimación inicial).

$$n_0 = \frac{z^2 \cdot cv^2}{e^2} \tag{5.1}$$

Donde:

n_0 : estimación inicial del tamaño de muestra necesario, antes de comenzar el muestreo.

cv : coeficiente de varianza, que se define como la desviación estándar de las lecturas dividida por la media.

z : valor de la distribución normal estándar con un número infinito de lecturas y para el nivel de confianza deseado.

e : nivel deseado de precisión. En este caso es de un 5 %.

Se obtiene n_0 para ambos casos:

año	**2020**	**2021**
n_0	384,16	384,16

Tabla 5.7: Tamaño de la muestra de datos mínima.

2.a) Ajustar la estimación inicial para grupos pequeños

Mediante el uso de la ecuación 5.2 se obtiene el nuevo tamaño de la muestra para grupo de datos pequeños, mostrados en la Tabla 5.8.

$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + N} \tag{5.2}$$

Donde:

n_0 : estimación inicial del tamaño de muestra necesario.
N : tamaño de población que tengo.
n : tamaño de muestra reducido. Mínimo de datos para poder validar el modelo.

año	**2020**	**2021**
n	11,64	11,64

Tabla 5.8: Ajuste de la estimación inicial del tamaño de muestra.

3) Definir las variables que influyen en la LBE

Las variables que intervienen en este estudio y período son: HH [hr] como variable independiente y consumo de energía eléctrica [kWh] como variable dependiente.

4) Toma de datos

Como se cuenta con los datos de consumo energético mensual durante un período anual, es por ello que se trabaja con 12 datos.

5) Verificación de cv de los datos tomados

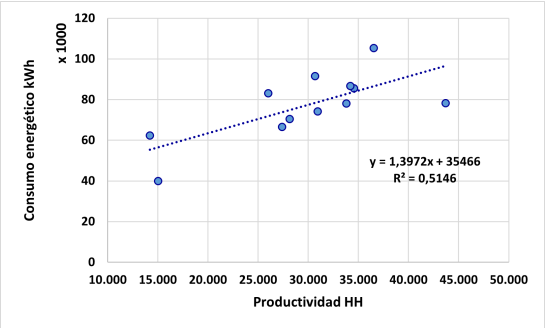
Recordar que el supuesto para el coeficiente de variación es igual a 0,5 y para mantener ese número mínimo se debe verificar que los datos reales tomados tienen un valor de *cv* asumido o menor. Por lo tanto, la hipótesis es que el *cv* real debe ser menor o igual a 0,5.

En la Figura 5.18(a) y Figura 5.18(b) se ilustran las regresiones lineales obtenidas para cada año. Mediante la estadística descriptiva realizada con Excel, se obtienen los parámetros de la regresión lineal en conjunto con el coeficiente de determinación R^2.

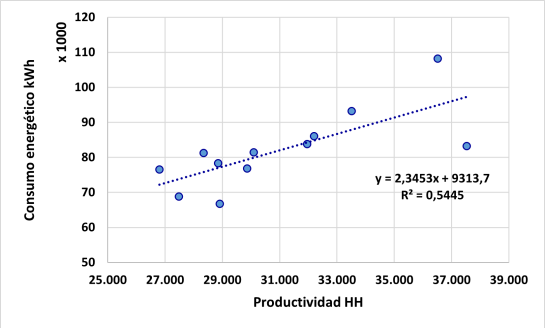
En general, cuanto mayor sea el R^2, más posibilidades tendrá el modelo de describir la relación de las variables independientes y la variable dependiente. Aunque no existe ningún estándar universal para un valor mínimo aceptable de R^2, un valor de 0,75 se suele considerar como un indicador razonable de una buena relación causal entre la energía y las variables independientes [28].

La prueba de R^2 sólo se utilizará a modo de comprobación inicial. Los modelos no tienen que ser aceptados o rechazados basándose únicamente en R^2. Finalmente lo que si podemos concluir es, un R^2 bajo indica que una o más variables relevantes no han sido incluidas en el modelo o que su forma funcional (regresión lineal) no es la adecuada.

En este caso, sería lógico considerar otras variables independientes adicionales o una forma funcional distinta ya que el modelo de regresión lineal para las variables consumo energético vs indicador de productividad HH no es significativo desde el punto de vista de R^2.



(a) Regresión lineal año 2020



(b) Regresión lineal año 2021

Figura 5.18: Regresión lineal consumo energético vs HH 2020 y 2021.

La Tabla 5.9 resume los datos estadísticos obtenidos de ambas regresiones lineales, se obtiene para las dos muestras un coeficiente de varianza menor a el coeficiente de varianza de la hipótesis, para un nivel de confianza del 95 %. Validando la hipótesis inicial para *cv*.

Variable \ Año	2020	2021
Media [kWh]	76.825	82.029.8
Desviación estándar [kWh]	16.418,9	10.913,1
Coeficiente de varianza [-]	0,2137	0,1330

Tabla 5.9: Verificación de cv de los datos tomados.

6) Determinación del modelo de LBE y su nivel de significación respecto a la variable independiente

6.a) El nivel de significancia del modelo, es decir, si el modelo cumple la hipótesis de que las variaciones de la variable dependiente son provocadas por las variaciones de la variable independiente, debe cumplir que el valor de la probabilidad p-value sea menor a 0,05.

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	p-value
Intercepción año 2020	35.465,7	13.166,9	2,6936	0,0226
HH año 2020	1,3972	0,4291	**3,2582**	**0,0086**
Intercepción año 2021	9.313,7	21.151	0,4403	0,669
HH año 2021	2,3452	0,6784	**3,4572**	**0,0062**

Tabla 5.10: Determinación del modelo de LBE y nivel de significación respecto variable independiente.

Se comprueba que el valor de la probabilidad (p-value) para ambos casos es menor a 0,05 por lo tanto, ambos modelos son significativos de acuerdo a la comparativa estadística.

Para verificar el modelo mediante una validación por tabla de distribución t-student, el valor de la distribución t-student debe ser mayor al valor por tabla para la cantidad de datos y el nivel de confianza esperado. En este caso, 12 son los datos considerados y un nivel de confianza de 95 %, obteniéndose un valor teórico t-student igual a 2,20.

La verificación del modelo con el estadístico t-student arroja que para ambos casos el valor de t-student es mayor al valor teórico. Por lo que, las variaciones de la variable independiente influyen significativamente en las variaciones del consumo energético.

6.b) El valor de R^2 indica la fortaleza de la relación entre las variables y además, la dirección de la relación, o sea, si cuando crece uno también crece el otro o viceversa.

	Año 2020	**Año 2021**
Coef. de determinación	**0,5146**	**0,5445**
Error típico [kWh]	11.997,86	7.725,11
Observaciones	12	12

Tabla 5.11: Resumen estadística descriptiva de la regresión lineal.

Como el R^2 puede ser interpretado como un porcentaje, podemos concluir que aproximadamente el 50 % de la variabilidad en el consumo energético puede ser explicada por la relación lineal entre el consumo energético y el indicador de productividad HH.

7) Determinación de propiedades del modelo de LBE

7.a) Precisión absoluta del modelo

La precisión absoluta (PA) es la medida del intervalo absoluto o relativo dentro del cual se espera que estén los valores verdaderos, con un nivel determinado de confianza. Se espera que el valor verdadero de cualquier estimación estadística, con un nivel concreto de confianza, caiga en el intervalo definido por la estimación ± precisión absoluta.

La PA se calcula con la ecuación 5.3, obteniéndose los valores mostrado en la Tabla 5.12.

$$PA = t \cdot SE \tag{5.3}$$

Siendo t el estadístico t-student y SE el error típico de la estadística de la regresión lineal.

año	**2020**	**2021**
PA [kWh]	26.395,3	16.995,3

Tabla 5.12: Determinación precisión absoluta del modelo.

7.b) Precisión relativa

La precisión relativa (PR) es la PA expresada en porcentaje. Se puede expresar como se muestra en la ecuación 5.4.

$$PR = \frac{PA}{Y_{medio}} \tag{5.4}$$

Donde Y_{medio} es el valor promedio del consumo energético del modelo de LBE.

	Año 2020	**Año 2021**
PR [%]	34,36	20,72

Tabla 5.13: Determinación precisión relativa del modelo en porcentaje.

En resumen los atributos de los modelos de regresión lineal para los años 2020 y 2021 de LBE son:

	Año 2020	**Año 2021**
Modelo	Y = 1,397 · X + 35.465,66	Y = 2,345 · X + 9.313,73
Error medio [kWh]	11.997,86	7.725,11
Error medio promedio [%]	15,62	9,42
Nivel de confianza [%]	95	95
Intervalo de confianza [%]	± 34,35	± 20,72
Coef. de determinación [%]	51,46	54,45

Tabla 5.14: Resumen de atributos del modelo de LBE para el escenario uno.

Segundo escenario: años 2020 y 2021 juntos

Al igual que el primer escenario, se utiliza la misma metodología.

1) Definición del período base:

El período base definido es de 24 meses, ya que incluye ambos período como uno solo, es decir se consideran 24 datos.

2) Definición de la muestra de datos mínima:

Utilizando la ecuación 5.1 para datos mínimos y con sus respectivos supuestos ($z = 1{,}96$ para un 95 % de confianza; $e = 5\,\%$ nivel deseado de precisión; $cv = 0{,}5$ estimación inicial). Se obtiene n_0:

año	**2020-2021**
n_0	384,16

Tabla 5.15: Tamaño de la muestra de datos mínima.

2.a) Ajustar la estimación inicial para grupos pequeños

Mediante el uso de la ecuación 5.2 se obtiene el nuevo tamaño de la muestra para grupos de datos pequeños, mostrados en la Tabla 5.16.

año	**2020-2021**
n	22,59

Tabla 5.16: Ajuste de la estimación inicial del tamaño de muestra.

3) Definir las variables que influyen la LBE

Las variables que intervienen en este estudio y período son: HH [hr] como variable independiente y consumo de energía eléctrica [kWh] como variable dependiente.

4) Toma de datos

La medición de datos es mensual durante dos períodos anuales por tanto, se trabaja con 24 datos en el período.

5) Verificación de cv de los datos tomados

Recordar que el supuesto para el coeficiente de variación es igual a 0,5 y para mantener ese número mínimo se debe verificar que los datos reales tomados tienen un valor de *cv* asumido o menor. Por lo tanto, la hipótesis es que el *cv* real debe ser menor o igual a 0,5.

En la Figura 5.19 se ilustra la regresión lineal obtenida con los datos del escenario dos. Al igual que el primer escenario, también sería lógico considerar otras variables independientes adicionales o una forma funcional distinta ya que el modelo de regresión lineal para las variables consumo energético vs indicador de productividad HH no es significativo desde el punto de vista de R^2.

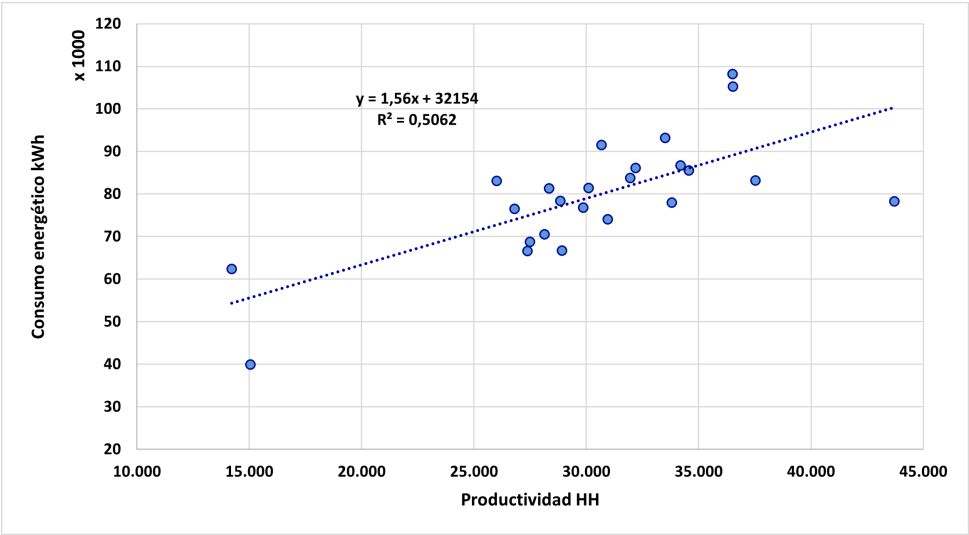


Figura 5.19: Regresión lineal consumo energético vs HH para años 2020-2021.

La Tabla 5.17 resume los datos estadísticos obtenidos de la regresión lineal, se obtiene un coeficiente de varianza menor a el coeficiente de varianza de la hipótesis, para un nivel de confianza del 95 %. Validando la hipótesis inicial para *cv*.

Variable \ Año	2020-2021
Media [kWh]	79.427,375
Desviación estándar [kWh]	13.890,87
Coeficiente de varianza [-]	0,1749

Tabla 5.17: Verificación de cv de los datos tomados.

6) Verificación de R^2 y filtrado de datos

A diferencia del primer escenario, en el segundo escenario si se puede hacer una verificación de R^2 y filtrado de datos, debido a que se tiene un mayor tamaño de muestra. En este caso los datos totales son 24, con una data mínima de 23 datos, luego de realizar el filtrado y aplicando un factor Z de 2,4 (valor que da el ancho de la franja de filtrado) se obtienen 23 datos y cumpliendo con el criterio de muestra de datos mínima (n igual a 22,59). Para mayor detalle del proceso de filtrado, es recomendado revisar el Anexo D. Se resumen los datos obtenidos en la Tabla D.2.

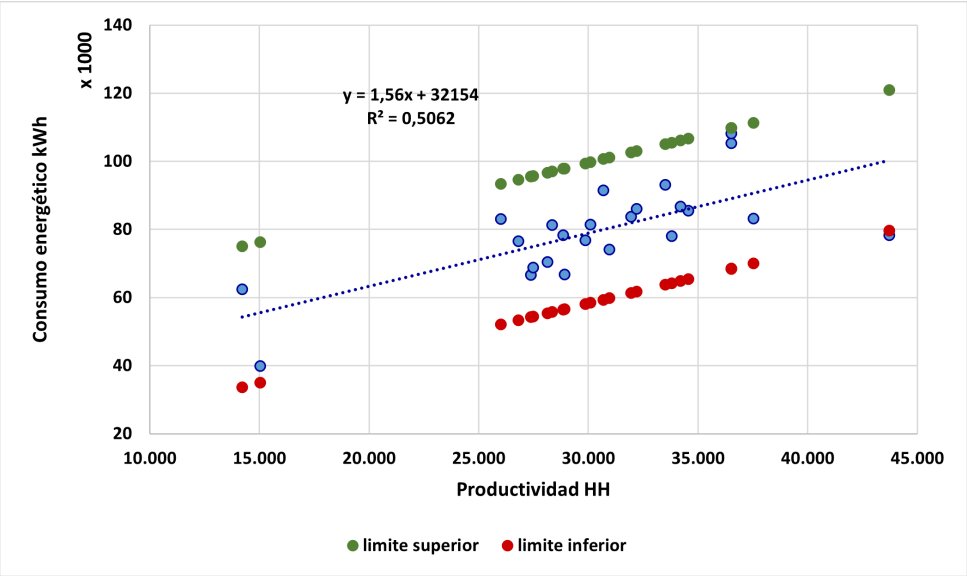


Figura 5.20: Regresión lineal consumo energético vs HH sin filtrado.

Una vez realizado el filtrado de datos ya se ha eliminado la posibilidad de datos falsos. Por lo tanto, es posible volver a establecer el modelo lineal de línea base energética con los datos filtrados.

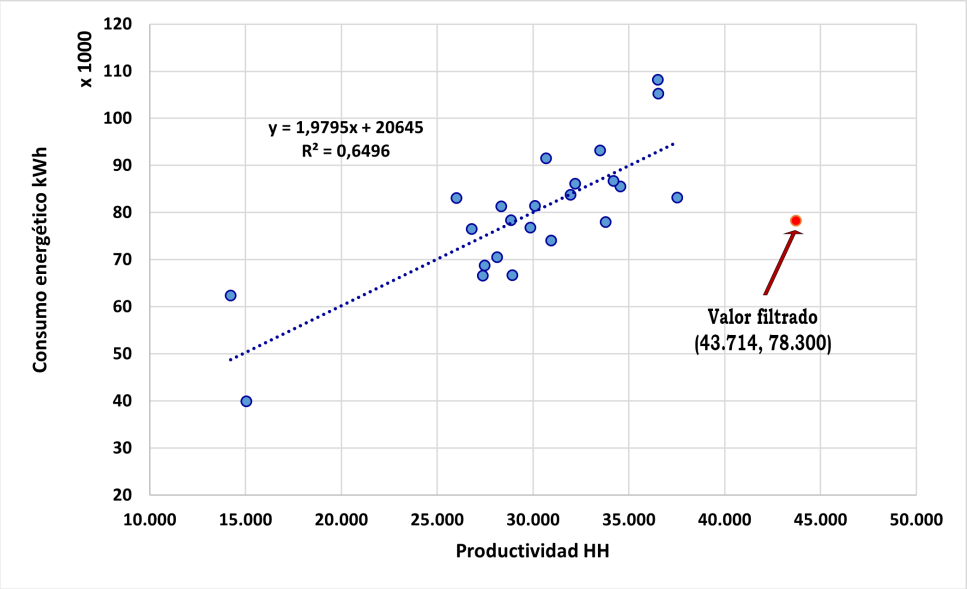


Figura 5.21: Regresión lineal consumo energético vs HH filtrado.

7) Determinación del modelo de LBE y su nivel de significación respecto a la variable independiente

7.a) El nivel de significancia del modelo, es decir, si el modelo cumple la hipótesis de que las variaciones de la variable dependiente son provocadas por las variaciones de la variable independiente, debe cumplir que el valor de la probabilidad p-value sea menor a 0,05.

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	p-value
Intercepción 2020-2021	20.645,25	9.598,71	2,1508	0.0433
HH 2020-2021	1,979	0,3173	**6,2390**	**3,4518E-06**

Tabla 5.18: Determinación del modelo de LBE y nivel de significación respecto variable independiente.

Se comprueba que el valor de la probabilidad (p-value) es menor a 0,05, por lo tanto, el modelo es significativo de acuerdo a la comparativa estadística.

Para verificar el modelo mediante una validación por tabla de distribución t-student, el valor de la distribución t-student debe ser mayor al valor por tabla para la cantidad de datos y el nivel de confianza esperado. En este caso, se consideran 23 datos y un nivel de confianza de 95 %, obteniéndose un valor teórico de t-student igual a 2,074.

La verificación del modelo con el estadístico t-student arroja que el valor de t-student es mayor al valor teórico. Por lo que, la variación de la variable independiente influye significativamente en la variación del consumo energético.

7.b) El valor de R^2 que indica la fortaleza de la relación entre las variables y además, la dirección de la relación, o sea, si cuando crece uno también crece el otro o viceversa.

Año 2020-2021	
Coef. de determinación	**0,6496**
Error típico [kWh]	8.604,44
Observaciones	23

Tabla 5.19: Resumen estadística descriptiva de la regresión lineal.

Aproximadamente el 65 % de la variabilidad en el consumo energético puede ser explicada por la relación lineal entre el consumo energético y el indicador de productividad HH. El porcentaje restante se puede deber a influencia de las variables que dependen de las condiciones de operación y mantenimiento.

A pesar de haber aumentado el R^2 luego del filtrado, este valor aún no es cercano a 0,75 como se recomienda en la bibliografía, evidenciando que el indicador de productividad horas hombre no es suficiente para explicar la variabilidad entre consumo energético y productividad.

8) Determinación de propiedades del modelo de LBE

8.a) Precisión absoluta del modelo

La *PA* se calcula con la ecuación 5.3, obteniéndose los valores mostrado en la Tabla 5.20.

año	**2020-2021**
PA [kWh]	17.845,61

Tabla 5.20: Determinación precisión absoluta del modelo.

8.b) Precisión relativa

La *PR* es la *PA* expresada en porcentaje. Se puede expresar como se muestra en la ecuación 5.3.

año	2020-2021
PR [%]	22,45

Tabla 5.21: Determinación precisión relativa del modelo en porcentaje.

En resumen los atributos del modelo de regresión lineal para los años 2020-2021 de LBE son:

Año 2020-2021	
Modelo	Y = 1,9795 · X + 20.645
Error medio [kWh]	8.605,44
Error medio promedio [%]	10,83
Nivel de confianza [%]	95
Intervalo de confianza [%]	± 22,45
Coef. de determinación [%]	64,96

Tabla 5.22: Resumen de atributos del modelo de LBE para escenario dos.

En el análisis del primer escenario, para los años 2020 y 2021, se determinó un R^2 en torno al 50 % y para el segundo escenario, donde se consideran los dos períodos en estudio como uno solo, se determinó un R^2 cercano al 65 %. Ambos escenarios reflejan un R^2 inferior a 0,75, valor considerado por la literatura como significativo para los análisis de regresión lineal para el calculo de la LBE. Igualmente se sugiere considerar períodos de dos años o más, ya que los datos de un único año no siempre serían representativos o podrían tener desviaciones puntuales.

Las causas más frecuentes de la baja correlación entre consumo energético y la producción están dadas porque 1) existen errores en la medición o en su procesamiento; 2) no existen manuales de buenas prácticas o se incumple lo establecido en ellos; 3) La estructura de producción incluye productos con diferentes requerimientos energéticos; 4) existen factores que influyen sobre el consumo energético y no han sido considerados y 5) en el proceso productivo se incluyen actividades que consumen energía y no se reflejan en la producción. Por lo que, para este estudio un bajo R^2 se puede haber ocasionado debido a que no se consideraron factores que influyen sobre el consumo energético, como por ejemplo, los grados-día. Además, como no se tiene una planificación y control de las fuentes de energía gas y petróleo, estas tampoco fueron incluidas en el análisis por falta de información.

Sin embargo, un R^2 sobre 0,6 es considerado una aproximación moderada en estadística, por esta razón se considera el segundo escenario para seguir con el análisis de este estudio.

5.2.6. Línea base energética meta

De acuerdo a la metodología expuesta en Anexo E, en la cual se establecen metas cuantitativas de energía basadas en los comportamientos previos, para obtener la línea base energética meta (en adelante, LBE meta) se analiza los valores por debajo de LBE obtenida en la Sección 5.2.5 del segundo escenario. En la Tabla E.2 se detallan en amarillo los valores que se encuentran por debajo de la LBE para establecer metas cuantitativas de energía basada en comportamientos previos resumidos en la Tabla 5.23.

HH hrs	Consumo energético meta kWh
28.134	70.500
27.384	66.600
30.949	74.100
15.045	39.900
34.555	85.500
34.193	86.700
33.798	78.000
27.487	68.817
28.912	66.713
31.959	83.759
37.522	83.200
29.869	76.800

Tabla 5.23: Datos de consumo energético por debajo de la LBE para analisis de LBE meta.

En la Tabla 5.24 se resumen los parámetros y atributos de la lBE meta obtenidos desde el análisis de estadística descriptiva.

Modelo	Y = 2,1532 · X + 8.821,2
Consumo promedio [kWh]	73.382,42
HH promedio [Hrs]	29.984
Error medio [kWh]	3.926,17
Error medio promedio [%]	5,35
Nivel de confianza [%]	95
Intervalo de confianza [%]	± 11,77
Coef. de determinación [%]	91,45

Tabla 5.24: Resumen de atributos del modelo de LBE meta.

En la Figura 5.22 se ilustran los comportamientos, con sus respectivas regresiones lineales, de la LBE considerando todas las operaciones y la LBE meta, la cual considera solo las operaciones por debajo de la LBE, también denominadas como mejores operaciones.

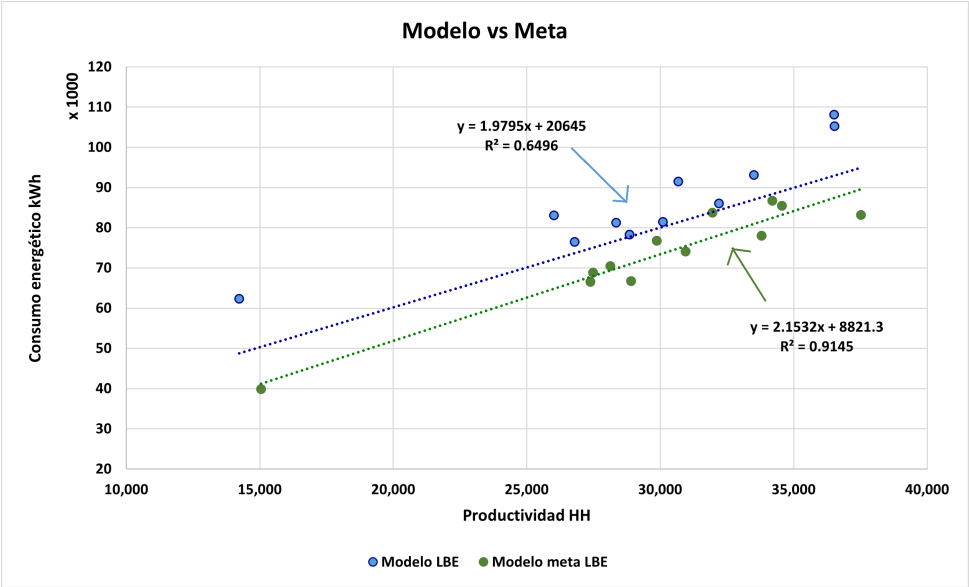


Figura 5.22: Regresión lineal del comportamiento de las operaciones por debajo de la línea base con respecto al total.

Una vez obtenido los atributos y parámetros del modelo de LBE meta se procede a analizar la diferencia entre el comportamiento de todas las operaciones (O_t) y el comportamiento de las mejores operaciones (M_O). Definiendo nuevas variables para el consumo energético como se muestra en la ecuación 5.5 y la ecuación 5.6. Recordar que la LBE se definió como $E_t = m \cdot P + E_o$.

Bajo esa misma primicia, de forma general se definen:

$$Y_{oti} = M_{ot} \cdot X_i + I_{ot} \tag{5.5}$$

$$Y_{moi} = M_{mo} \cdot X_i + I_{mo} \tag{5.6}$$

Donde:

M	:	pendiente del modelo.
I	:	intercepto con el eje de la variable dependiente del modelo.
X	:	variable independiente.
Y	:	variable dependiente.
M_o	:	mejores operaciones.
O_t	:	todas las operaciones.
X_i	:	valores puntuales de la variable independiente.
Y_{oti}	:	valores puntuales de la variable dependiente.

Así mismo también se debe considerar que:

$$I_{ot} = Y_{promOt} - M_{ot} \cdot X_{promOt} \tag{5.7}$$

$$I_{mo} = Y_{promMo} - M_{mo} \cdot X_{promMo} \tag{5.8}$$

Reemplazando las ecuaciones 5.7 y 5.8 en las ecuaciones 5.5 y 5.6 se obtiene la diferencia entre ambos modelos que reflejan la diferencia entre los dos comportamientos.

$$Y_{oti} - Y_{moi} = (M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i + I_{ot} - I_{mo}$$
$$Y_{oti} - Y_{moi} = (M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i + Y_{promOt} - M_{ot} \cdot X_{promOt} - Y_{promMo} + M_{mo} \cdot X_{promMo}$$
$$Y_{oti} - Y_{moi} = \overbrace{(M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i}^{1.} + \underbrace{(Y_{promOt} - Y_{promMo})}_{3.} + \overbrace{(M_{mo} \cdot X_{promMo} - M_{ot} \cdot X_{promOt})}^{2.}$$

Los componentes $(M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i$ y $M_{mo} \cdot X_{promMO} - M_{ot} \cdot X_{promOT}$ reflejan el impacto del cambio de variabilidad del consumo energético con respecto la producción en el modelo. La suma algebraica de ellos indica si el cambio de variabilidad produce aumento o disminución del consumo energético.

La Tabla 5.25 resume los atributos para ambas regresiones lineales de pendientes y promedios para las variables dependiente e independiente.

Variable	**Valor**
M_{ot}	1,9795
M_{mo}	2,1532
X_i [Hrs]	29.720,26
Y_{promOt} [kWh]	79.476,39
Y_{promMo} [kWh]	73.382,42
X_{promOt} [Hrs]	29.720,26
X_{promMo} [Hrs]	29.984,00

Tabla 5.25: Resumen de atributos del análisis de diferencias entre los modelos O_t y M_o

$$Y_{ot} - Y_{mo} = \overbrace{-5.162,10}^{1.} + \underbrace{6.093,97}_{3.} + \overbrace{5.729,98}^{2.} = 6.661,854 \quad kWh/mes \tag{5.9}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos, el comportamiento de O_t produce un incremento del consumo energético promedio mensual en 6.661,85 kWh/mes, equivalente al 8,38 % del consumo energético total, es decir, que las M_o tuvieron un consumo promedio mensual de 8,38 % inferior que el de O_t. Esto se debe a que teóricamente hubo una reducción del consumo promedio energético fijo en cada mes equivalente a 6.093,97 kWh y un impacto positivo asociado al mejor control operacional que provocó en promedio una reducción de consumo de energía mensual de 567,88 kWh (suma algebraica de las componentes 1. y 2. antes mencionadas).

Por lo tanto, como las mejores operaciones pueden repetirse, así como también el nivel de variabilidad operacional de O_t, el ahorro puede ser de 8,38 % anual solo modificando el control operacional sin incluir cambios tecnológicos.

La pendiente del modelo de regresión lineal para la LBE con respecto a la LBE meta aumentó, esto significa que las variables dependen aún más de la variabilidad del consumo energético. Con un R^2 igual a 0,9145 fuertemente significativo, según la revisión bibliográfica, donde las variaciones del consumo energético se deben a las variaciones del indicador de productividad HH.

5.2.7. Indicadores de desempeño energético

Conforme a las ventajas que ofrecen los indicadores de desempeño energético para el mejoramiento de la eficiencia energética en un equipo, proceso, área y/o planta, se presentan los indicadores para el caso de estudio de la planta ASMAR-V.

1) Índice de consumo (IC)

Los índices de consumo establecen la relación óptima entre la energía consumida (E_t) y la producción P. De este modo el IC mide el nivel de eficiencia y/o ineficiencia asociado a la producción, se puede calcular en base a la ecuación 5.10.

En el análisis de estas dos variables es importante considerar que la variación en los volúmenes de producción impacta positivamente o negativamente al consumo de energía. Se observa que a medida que la producción disminuye es posible que aumente el consumo total de energía, como se aprecia en la ecuación 4.1 de la LBE, porque el gasto energético por unidad de producto aumenta. Esto debido a que se incrementa el peso relativo de la energía no asociado a la producción respecto a la energía productiva.

Para lograr mejorar el desempeño energético se deberá establecer el índice de consumo mínimo alcanzable, que se obtiene cuando se trabaja a niveles productivos iguales o superior a la producción crítica.

$$IC = \frac{E_t}{P} = m + \frac{E_0}{P} \tag{5.10}$$

Donde:

IC	:	índice de consumo.
E_t	:	consumo de energía estimada.
P	:	variable independiente.
m	:	pendiente de la recta de la LBE.
E_0	:	consumo energético fijo de los macroprocesos.

Los puntos por debajo de la curva IC (Figura 5.23) teórico reflejan una productividad eficiente, en cambio los puntos por encima de esta curva reflejan una productividad ineficiente.

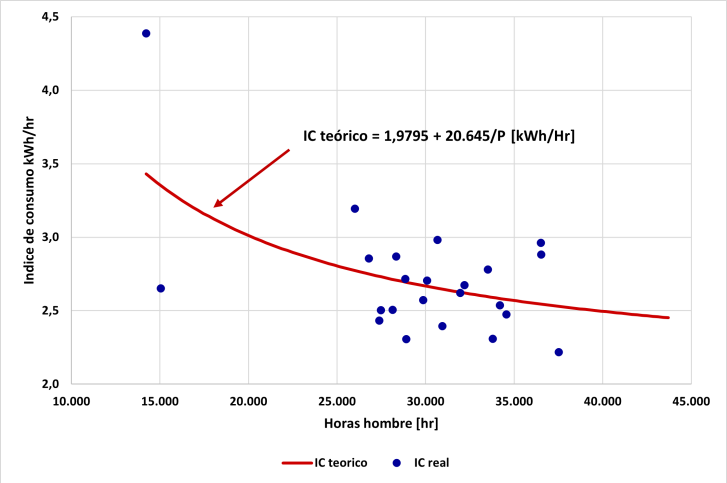


Figura 5.23: Índice de consumo IC ASMAR Valparaíso.

En el caso de estudio, el comportamiento general del consumo energético en relación al índice de consumo real, refleja que el 54 % de los puntos se localizan por debajo de la curva, lo que evidencia un alto grado de ineficiencia asociado a la producción.

De acuerdo a la Tabla A.1, se tiene un índice de consumo promedio teórico de 2,70 kWh/HH y un índice de consumo promedio real de 2,69 kWh/HH, dicho valor deberá ser ajustado a 2,67 kWh/HH, ya que se está trabajando con los valores por debajo de la curva *IC*. Dicho valor de índice consumo promedio real es equivalente a tener una productividad igual o mayor a 32.198 HH/mes. Por tanto, para mejorar el comportamiento energético, la organización debe plantear nuevos esquemas de productividad en relación a la planificación y control de las operaciones.

Teniendo en cuenta que los meses junio-julio (año 2020) se vieron fuertemente afectado por la pandemia COVID y cuarentena, estos no se incluyen en el análisis de cambio de pendiente de índice de consumo. Como se muestra en la Tabla A.2 y la Figura 5.24, el punto de inflexión teórico entre zona de altos *IC* y bajos *IC* se da en 2,58 kWh/HH teórico y 2,47 kWh/HH real.

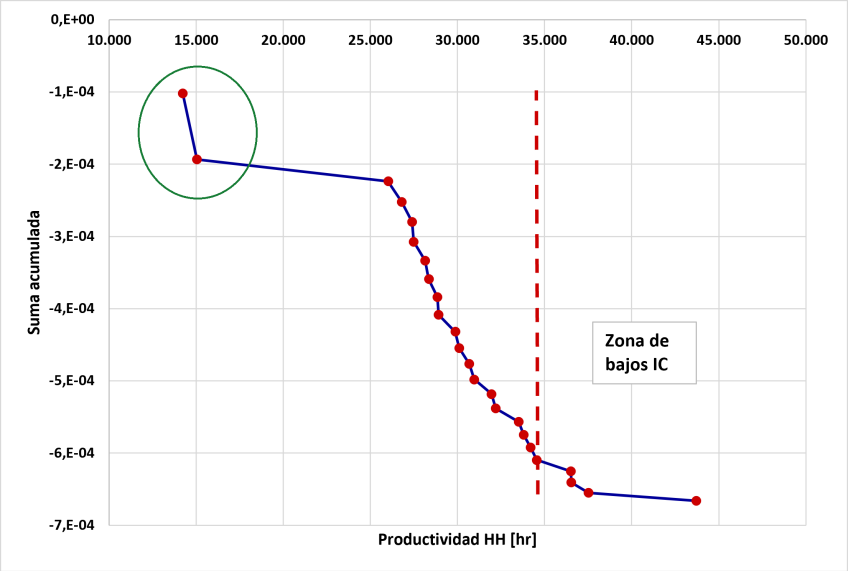


Figura 5.24: Cambio de pendiente de IC con la producción ASMAR Valparaíso.

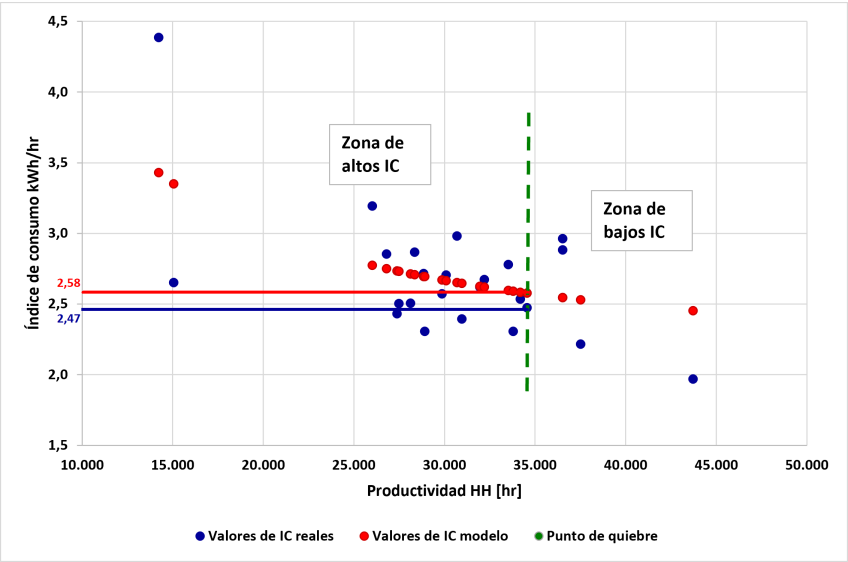


Figura 5.25: Tasa de producción de quiebre entre alto y bajo IC ASMAR Valparaíso.

El cálculo del potencial se basa en determinar el ahorro de energía que puede producirse por trabajar a más bajos índices de consumo de energía con la misma producción mensual realizada. Esto se logra incrementando la tasa horaria de producción por encima a la del punto de quiebre seleccionada. Esto se realiza en la organización mediante una nueva planeación de la producción.

Finalmente para determinar el potencial de ahorro energético mensual, se debe determinar el IC promedio con el que ha trabajado la organización antes de la nueva planificación de la producción como también, determinar el IC del punto de quiebre seleccionado entre altos y bajos IC y determinar la producción promedio mensual. A partir de la Figura 5.24 y la Figura 5.25. Se obtienen un índice de consumo crítico igual a 2,58 kWh/HH.

$$Ahorro\,potencial = P_{prom} \cdot (IC_{prom} - IC_{critico})$$
$$Ahorro\,potencial = 30.303 \cdot (2,69 - 2,58) = 3.259,71 \;\; kWh$$

El ahorro potencial refleja un valor de 3.259,71 kWh equivalente al 4,09 % del consumo energético promedio mensual.

2) Indicador base 100 (IB100)

Este indicador genera alertas en cuanto a variaciones positivas o negativas de la eficiencia del proceso, facilitando el análisis y generación de planes de acción en función de las mejores prácticas energética. Estas variaciones permiten realizar interacciones analíticas entre la producción y el consumo energético con miras a un mejoramiento continuo.

La cual al ser una herramienta de gestión permite analizar el uso de energía en un período determinado y por lo general coincide con el período de la LBE no obstante, puede ser en un período más reducido. Se calcula de acuerdo con la ecuación 5.11, siendo E_r el consumo de energía real.

$$IB100 = \frac{E_t}{E_r} \cdot 100 \tag{5.11}$$

Si IB100 >100, es decir, ELBE(P) >Ereal(P), Mejoró la eficiencia.

Si IB100 <100, es decir, ELBE(P) <Ereal(P), Empeoró la eficiencia.

En la Figura 5.26 se ilustra el IB100 para los meses de estudios, evidenciando en verde los meses donde se tuvo una operación productiva eficiente y en rojo una operación productiva deficiente. Al igual que el índice de consumo, el IB100 indica que la planta ASMAR-V posee un alto grado de ineficiencia, presentando el 46 % de los datos de consumo energético por debajo de la línea roja (base 100).

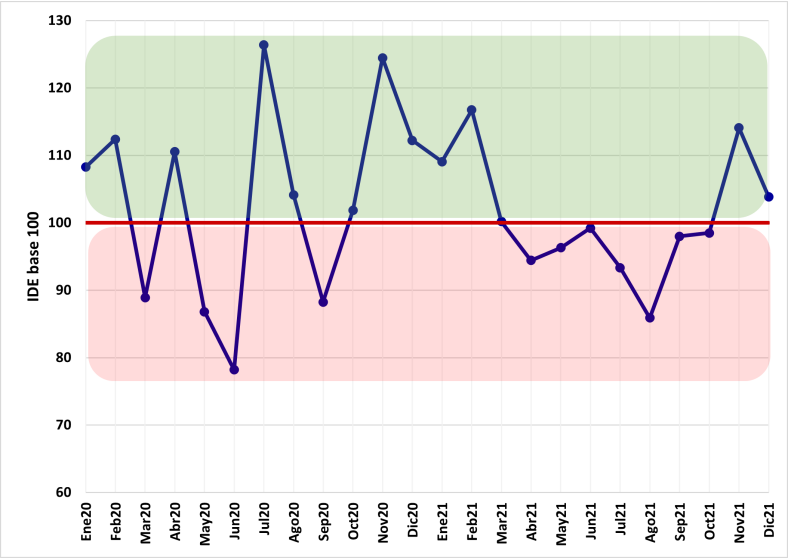


Figura 5.26: Indicador de desempeño energético base 100.

3) Indicador de tendencia o sumas acumulativas (CUSUM)

El indicador cumulative-sum, en adelante CUSUM, se basa en la representación de la acumulación de las desviaciones de cada observación respecto a un valor de referencia. CUSUM monitorea la tendencia de consumo energético en el proceso y determina la magnitud del ahorro o las pérdidas producidas en un período actual en relación a un período base. Esta herramienta sirve para establecer los rangos en los cuales deben permanecer variables de procesos que impactan en el consumo. De acuerdo con la ecuación 5.12.

$$CUSUM = \sum_{i=1}^{n} [(E_{ri} - E_{ti})] \quad [kWh] \tag{5.12}$$

Donde:

$CUSUM$	:	tendencias o sumas acumulativas.
E_{ri}	:	consumo de energía real en el mes i.
E_{ti}	:	consumo de energía teórico de LBE en el mes i.

De la Figura 5.27 [4] es posible identificar que entre los meses de octubre a marzo año 2020-2021 los procesos operaron de forma eficiente y luego en noviembre a diciembre año 2021 se presentó el mismo comportamiento equivalente a 8.300 kWh/mes y 7.345 kWh/mes, respectivamente para cada período.

Por otro lado en el período correspondiente entre abril y octubre año 2021 se ha sobre consumido energéticamente, equivalente a 32.353 kWh, es decir, en promedio 4.622 kWh mensual.

[4] La Figura 5.27 muestra en color verde los períodos de ahorro (eficiente) y en color rojo los períodos de sobreconsumo (ineficiente).

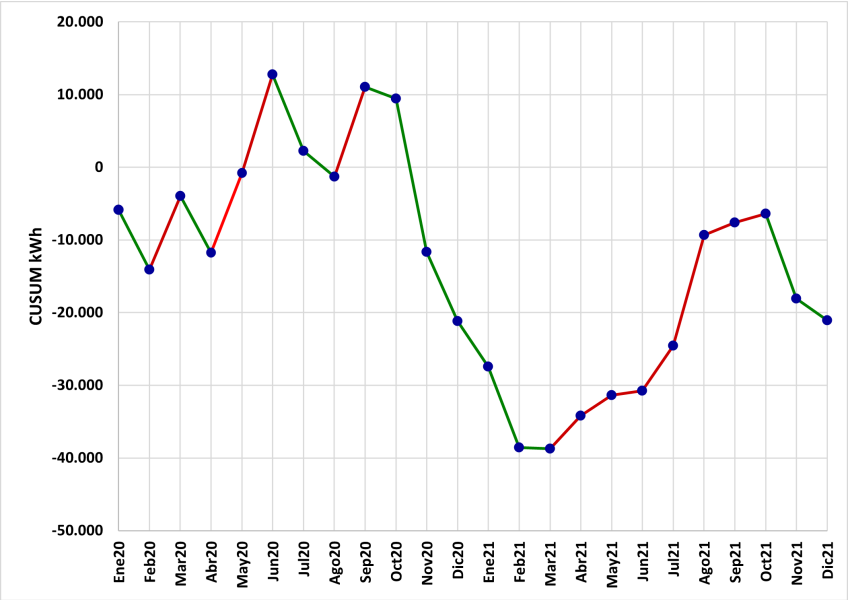


Figura 5.27: Indicador de tendencia de desempeño energético CUSUM.

4) Intensidad energética (IE)

La intensidad energética es una medida que permite determinar que cantidad de recursos energéticos necesita un país o una organización para generar el producto interno bruto (PIB), que es una de las medidas macroeconómicas más importantes para conocer el estado de su economía.

$$IE = \frac{E}{PIB} \quad \left[\frac{kWh}{\$}\right] \tag{5.13}$$

Así como la Ley N° 21.305 en su articulo 2° establece que las empresas deberán reportar anualmente al Ministerio de Energía sus consumos por uso de energía y su intensidad energética del año calendario anterior, estos son bajo un rol único tributario que en este caso incluye a las tres plantas de ASMAR. Debido a que no se poseen los valores de PIB ni los consumos energéticos de las otras plantas, no es posible en la actualidad definir un índice de intensidad energética.

Sin embargo, a partir de la metodología de este estudio se pueden llegar a conocer los consumos por uso de energía de las tres plantas y en conjunto con Finanzas poder calcular este índice.

5) Consumo energético anual por trabajador (CEAT)

El indicador *CEAT* entrega información sobre el consumo energético anual de electricidad que cada trabajador consume anualmente en promedio. Se puede calcular mediante la ecuación 5.14.

Sea i los meses del año y T_i la cantidad de trabajadores correspondientes al mes i.

$$CEAT_i = \sum_{i}^{n} \frac{CE_i}{T_i} \quad \left[\frac{kWh}{T}\right] \tag{5.14}$$

CEAT = 2.942,26 kWh/Trabajador

Donde CE_i es el consumo energético total del mes i.

En la Figura 5.28 se ilustra un gráfico de barras del indicador *CEAT* para el período de estudio con su respectivo indicador meta.

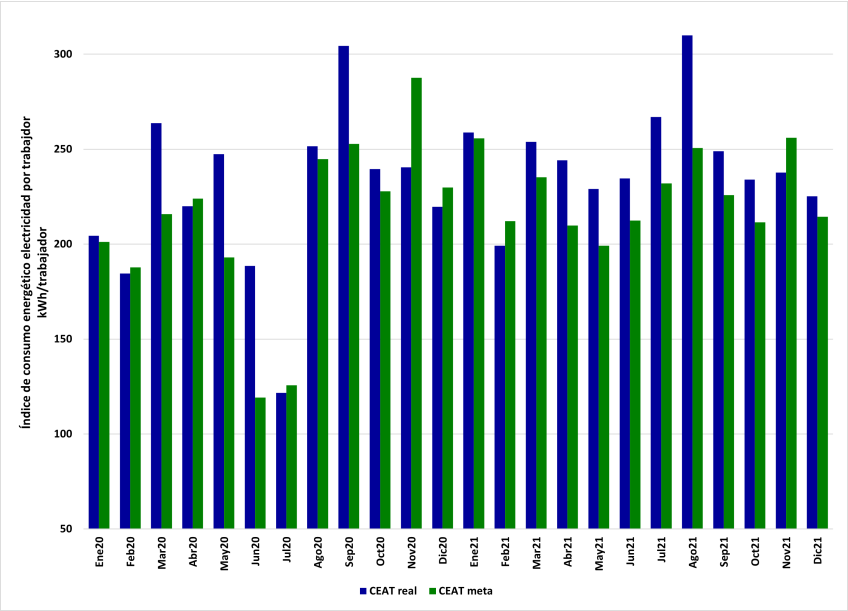


Figura 5.28: Indicador de consumo energético mensual de electricidad por trabajador real versus meta

6) Consumo energético anual estimado por fuente de energía y trabajador (CEAEFET)

El indicador *CEAEFET* entrega información basada en la estimación realizada en la revisión energética sobre los consumos energéticos estimados anuales por tipo de fuente de energía y trabajador. Se puede calcular mediante la ecuación 5.15.

Sea f la fuente de energía y T la cantidad de trabajadores promedio anual.

$$CEAEFET_f = \sum_{f}^{n} \frac{CE_f}{T} \quad \left[\frac{kWh}{T}\right] \tag{5.15}$$

Donde CE_f es el consumo energético auditado en la revisión energética.

$\text{CEAEFET}_{Electricidad} = 2997{,}44$ kWh/Trabajador

$\text{CEAEFET}_{Gas} = 973{,}84$ kWh/Trabajador

$\text{CEAEFET}_{Petroleo} = 697{,}92$ kWh/Trabajador

En la Figura 5.29 se ilustra un gráfico de barras del indicador *CEAEFET* para el período de estudio con su respectivo indicador meta.

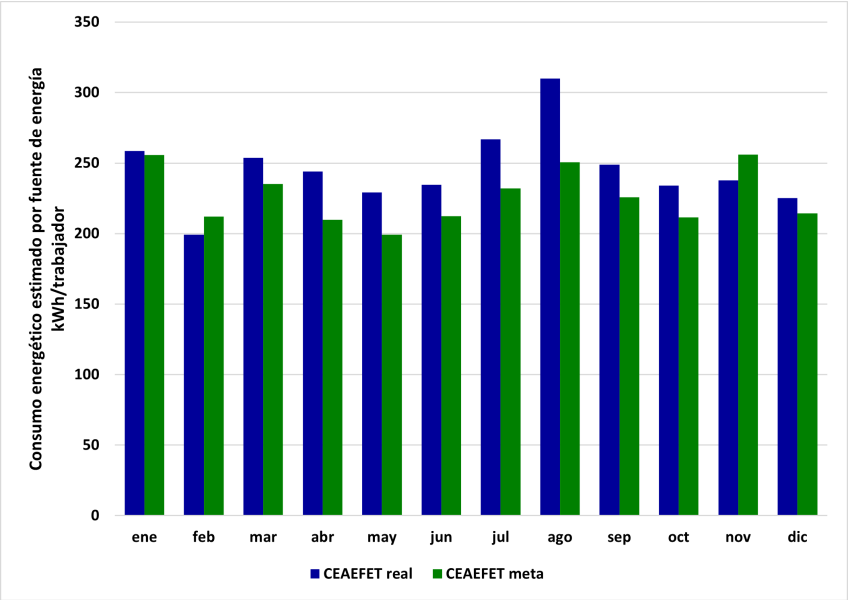


Figura 5.29: Indicador de consumo energético estimado por fuente energética versus meta

7) Consumo energético anual por superficie (CEAS)

El indicador *CEAS* entrega información sobre cuanta densidad de energía se tiene por fuente de energía. Se puede calcular mediante la ecuación 5.16.

Sea i los meses del año y u el uso de energía.

$$CEAS_u = \sum_i \frac{CE_{i,u}}{A} \quad \left[\frac{kWh}{m^2}\right] \tag{5.16}$$

Donde $\mathrm{CE}_{i,u}$ es el consumo energético en los meses i y usos de energía u.

$\mathrm{CEAS}_{Electricidad}$ =24,61 kWh/m^2

CEAS_{Gas} = 8,28 kWh/m^2

$\mathrm{CEAS}_{Petroleo}$ = 5,97 kWh/m^2

CEAS_{Total} = 38,86 kWh/m^2

Se estimó una superficie total[5] en 40.000 m^2, sin considerar estacionamientos. Se recomienda a futuro recalcular este indicador en su totalidad y especificar por zonas de trabajo, es decir, por talleres.

En la Figura 5.30 se ilustra un gráfico de barras del indicador *CEAS* para el período de estudio con su respectivo indicador meta.

[5]No se pudo conseguir un layout o superficie real de la planta ASMAR-V, estimándose mediante herramienta Google Maps sin considerar patios y estacionamientos.

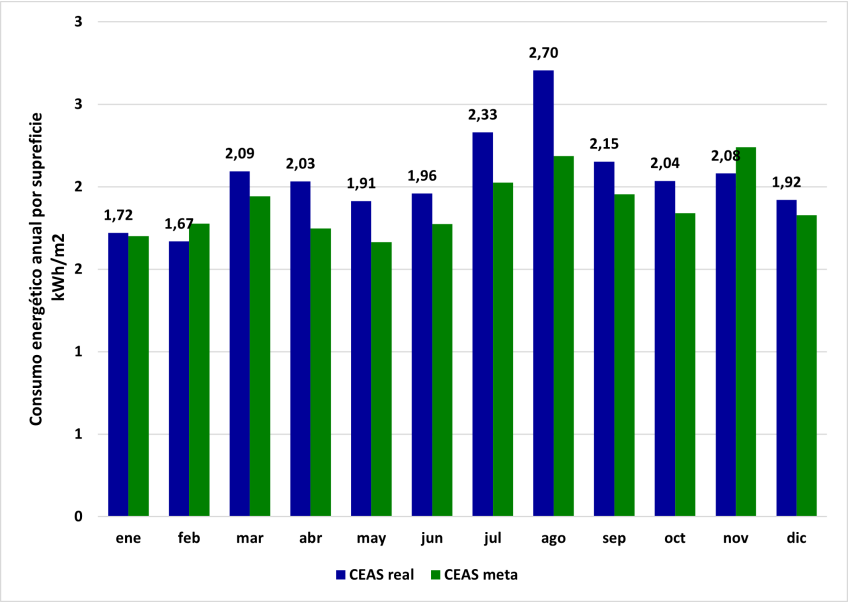


Figura 5.30: Indicador de consumo energético anual por superficie versus meta

8) Porcentaje de consumo energético anual por uso de energía (PCEAUE)

El indicador $PCEAUE$ entrega información sobre el porcentaje del consumo energético anual por uso energético. Se puede calcular mediante la ecuación 5.17.

Sea e un equipo que consume energía y u un uso de energía al que pertenece e.

$$PCEAUE_u = \frac{\sum_e X_{e,u}}{\sum_u \sum_e X_{e,u}} \cdot 100\,\% \tag{5.17}$$

Donde $X_{e,u}$ corresponde a la cantidad de energía anual auditada de un equipo e, perteneciente a un uso de energía u.

$\text{PCEAUE}_{Alimentacion} = 8{,}83\,\%$

$\text{PCEAUE}_{Climatizacion} = 16{,}06\,\%$

$\text{PCEAUE}_{Iluminacion} = 4{,}45\,\%$

$\text{PCEAUE}_{Operacion} = 62{,}26\,\%$

$\text{PCEAUE}_{TICs} = 8{,}41\,\%$

9) Porcentaje de consumo energético anual por área (PCEAA)

El indicador PCEAA entrega información sobre el consumo energético anual por área de trabajo (talleres). Se puede calcular mediante la ecuación 5.18.

Sea e un equipo que consume energía, u uso de energía y a el área de trabajo.

$$PCEAA_a = \frac{X_a}{\sum_u \sum_e X_{e,u}} \cdot 100\,\% \tag{5.18}$$

Donde X_a corresponde a la cantidad de energía anual auditada por áreas de trabajo.

En la Tabla 5.26 se resumen los valores para el indicador PCEAA de los distintos tipos de fuentes de energía.

PCEAA	Electricidad	Gas	Petróleo
Área mantención	39,14 %	0,05 %	82,12 %
Área habitabilidad	1,87 %	60,21 %	-
Cocina y comedores	4,45 %	30,46 %	-
Edif. Administrativo	14,05 %	-	-
Taller mecánica	9,43 %	-	0,10 %
Taller estructuras	6,82 %	6,94 %	-
Taller electricidad	8,07 %	1,18 %	0,02 %
Taller combustión	5,03 %	0,05 %	13,14 %
Taller cañerías	3,54 %	1,11 %	4,62 %
Taller carpintería	3,67 %	-	-
Taller PUMAR	2,32 %	-	-
Taller pinturas	1,61 %	-	-

Tabla 5.26: Indicador de porcentaje de consumo energético por área.

10) Consumo energético anual de iluminación por trabajador (CEAIT)

El indicador *CEAIT* entrega información sobre el consumo energético anual de iluminación por trabajador. Se puede calcular mediante la ecuación 5.19.

Sea i los meses del año, u el uso de energía en iluminación y T el número de trabajadores.

$$CEAIT_u = \frac{\sum_i X_u}{T} \quad \left[\frac{kWh}{T}\right] \tag{5.19}$$

Donde X_u es el consumo energético asociado a iluminación durante los meses i.

$\text{CEAIT}_{iluminacion} = 207{,}9$ kWh/trabajador

En la Figura 5.31 se ilustra un gráfico de barras del indicador *CEAIT* para el período de estudio con su respectivo indicador meta.

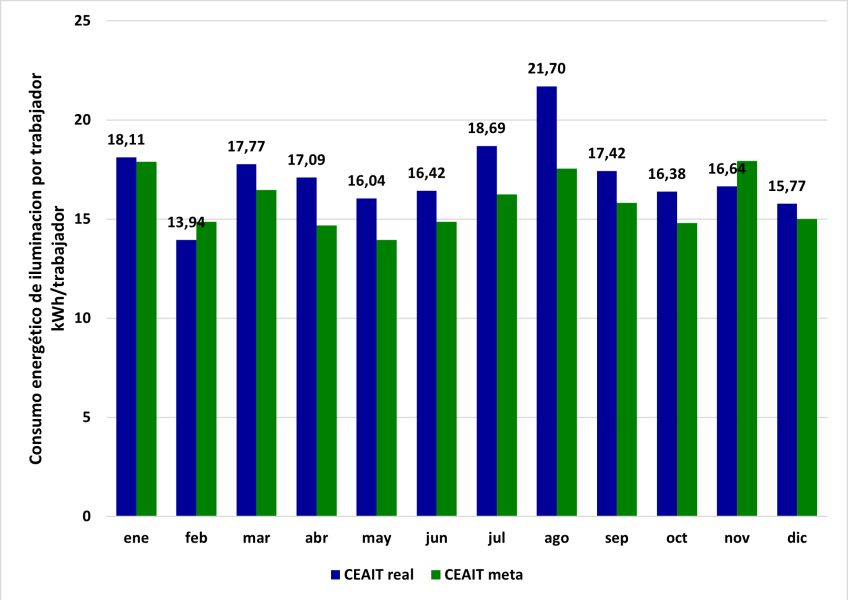


Figura 5.31: Indicador de consumo energético de iluminación por trabajador versus meta

Indicadores futuros recomendados

11) Consumo energético mensual peak en invierno (CEMPI)

El indicador *CEMPI* entregará información sobre el consumo energético mensual peak en período invierno. Se puede calcular mediante la ecuación 5.20

Sea i el mes de mayor consumo energético en invierno y f una fuente de energía.

$$CEMPI = \text{máx}\{CE_i\} \quad [kWh] \tag{5.20}$$

Donde CE_f es el consumo energético presente en la factura del mes i dado la fuente de energía f.

12) Costo anual por fuente de energía (CAFE)

El indicador *CAFE* entrega información sobre el costo de energía anual para cada tipo de fuente de energía. Se puede calcular mediante la ecuación 5.21.

Sea i los meses del año y f la fuente de energía.

$$CAFE = \sum_i C_{i,f} \, [\$] \tag{5.21}$$

Donde $C_{i,f}$ es el costo de energía presente en la factura del mes i y f la fuente de energía.

13) Costo energético mensual peak en invierno (CMPI)

El indicador *CMPI* entrega información sobre el costo de energía peak en invierno. Se puede calcular mediante la ecuación 5.22.

Sea j el mes de mayor consumo energético en invierno y f la fuente de energía.

$$CMPI = \text{máx}\{C_j\} \, [\$] \tag{5.22}$$

Donde C_j es el costo de energía presente en la factura del mes j con mayor consumo en invierno.

Adicionalmente, se agregan indicadores cualitativos para cuando ya esté en marcha la operación del SGE.

1. Capacitación
   - **NCA**: número de capacitaciones anuales.
   - **CPC**: calificación promedio de capacitaciones (calificadas por el personal dentro del alcance del SGE).
2. Calidad de servicio
   - **RCEST**: ratio de consumo energético anual sobre la satisfacción promedio de trabajadores.
3. Uso de energía renovables
   - **PCERV**: porcentaje de consumo energético con fuente de energía renovable variable respecto del consumo total.

4. Emisiones
   - **EGEI**: emisiones de gases de efecto invernadero debido al consumo energético.
   - **EEGEIERV**: emisiones evitadas de gases de efecto invernadero debido al consumo energético por fuente de energía renovable variable.

5.2.8. Definición de objetivos, metas y planes de acción energéticos

Respecto a objetivos, metas y planes de acción energéticos en el SGE, debe considerarse lo siguiente:

1) Objetivos:

- Disminuir el consumo energético total del alcance del SGE .
- Asegurar suministro de energía desde fuentes renovables variables.
- Implementar una cultura organizacional y procesos que consideren en el día a día que minimizar el consumo energético y consumo del agua es una obligación irrenunciable en cada acción de la organización.

2) Metas

Eje Consumo:

- Zonificación eléctrica interna por talleres instalando medidores inteligentes en los tableros generales por talleres aguas abajo del tablero general de la planta (**meta: operación**).
- Disminuir un 5 % el consumo energético total respecto a año base, mediante recambio o renovación de equipos, instalación de aislación térmica, planificación y gestión de mantenimiento a fines del primer año de implementación del SGE (**meta: operación; indicadores asociados: CEAEFET, CEAS, CEAT, CEMPI, PCEAA, PCEAUE, EGEI, EEGEIERV**).
- Renovación y cambio de iluminaria por tecnología LED (**meta: iluminación; indicadores asociados: PCEAA, PCEAUE, CEAIT, EGEI**).
- Implementar sistemas de reducción en el consumo de agua caliente sanitaria (perlizadores, interruptores de caudal para ducha o temporizadores) que reduzcan el consumo de energía por concepto de agua caliente un 15 % a fines del primer año (**meta: climatización; indicadores asociados: CEAEFET, CEAS, CAFE, CEAT, CEMPI, CMPI, PCEAUE, RCEST**).

Eje ERV:

- Instalar al menos paneles solares para suministrar la demanda de iluminación interior, exterior y emergencia a corto plazo de un año (**meta: ERV primer paso; indicador asociado: RCEST, EEGEIERV, PCERV**).
- Alcanzar una generación de un 20 % del consumo de energía sustentado por ERV a fines del segundo año y un aumento de 5 % anual los años siguientes con la finalidad de en un futuro eliminar el grupo electrógeno en su totalidad, y suplir la demanda anual de ASMAR-V en gran porcentaje (**meta: ERV largo plazo; indicadores asociados: CEAEFET, CEAS, CAFE, CEAT, CEMPI, CMPI, RCEST, EEGEIERV, PCERV**).

- En caso de no poder implementar una planta fotovoltaica con almacenamiento, (por temas de inversión, inviabilidad del proyecto u otro factor) gestionar un contrato de una empresa ESCO (energy service companies por sus siglas en ingles. En español, empresa de servicios energéticos) para suministro de ERV (**meta: ERV; indicadores asociados: PCERV, RCEST, EGEI, EEGEIERV, CEAS, CEAEFET, CAFE, CEMPI, CMPI,**).
- Estudiar prefactibilidad de instalar calentadores solares, con la finalidad de reducir el consumo de gas licuado (**meta: ERV; indicadores asociados: CEAFET, CAFE, CEAT, PCEAUE, EGEI, RCEST, PCERV**).
- Disminuir las emanaciones de GEI (**meta: operacion, ERV; indicadores asociados: EGEI, EEGEIERV**).

Eje Cultura:

- Realizar tres capacitaciones por año (trimestral), referente a mejorar el desempeño energético de los USE. Enfocadas en la instrucción eficiente y concientización de uso de equipamientos y recursos dentro de la planta y la importancia del ahorro energético (**meta: formación; indicadores asociados: NCA, CPC, RCEST**).

3) Planes de acción

Cada meta implica generar un plan de acción asociado, el que debe considerar requisitos legales, el costo de la medida, el efecto cultural que tendrá y las capacidades internas para poder llevarlas a cabo.

A modo de ejemplo se presenta en la Tabla 5.27 un plan de acción para la instalación de nuevos equipos de aire acondicionado para ASMAR-V.

I. Datos de identificación del plan de acción					
Nombre plan	**Responsable**	**Fecha**	**Consideración de la política energética**	**Objetivo (eje)**	**Meta**
Recambio de equipos de climatización en ASMAR-V	Responsable energético	dd/mm/aa	Implementar nuevas tecnologías y mejorar las existentes para consumir energía en las instalaciones de manera más eficiente	Consumo	Climatización
II. Impactos positivos potenciales					
1. Disminución de costos por menor potencia instalada para la misma finalidad.					
2. Disminución de emisiones de GEI por disminución de demanda eléctrica por climatización.					
3. Mejora en la sensación de confort de los trabajadores al interior de ASMAR.					
III. Aspectos legales a considerar.					
1. Normativa SEC para equipos de climatización.					
2. Normativa y buenas prácticas de la Cámara Chilena del a Construcción y Cámara Chilena de climatización y refrigeración.					
IV. Principales costos asociados.					
1. Estudios de ingeniería para dimensionamiento e implementación de los equipos.					
2. Pago de honorarios por la implementación.					
3. Inversión en equipos.					
V. Capacidades necesarias.					
1. Conocimiento y experiencia en dimensionamiento e instalación de equipos de climatización en empresas.					
2. Conocimientos en evaluación, desarrollo y control de proyectos, así como software de evaluación de medidas de eficiencia energética. Como por ejemplo, RETScreen					
3. Habilidades de comunicación efectiva, gestión de proveedores y de equipos.					
4. Conocimientos en software de control de proyecto.					
VI. Descripción del plan de acción.					
1. Realización de estudios de demanda energética, balance energético, dimensionamiento de equipos, requisitos legales y organizacionales para la instalación, cotización de inversión e instalación, cotización de inversión e instalación, con tal de escoger la mejor opción de proyecto.					
2. Definir fechas de instalación de los equipos y permisos necesarios.					
3. Gestionar orden de compra para la realización del proyecto con las áreas organizacionales pertinentes.					
4. Instalar los equipos, llevar a cabo y probar la puesta en marcha antes de dar por cerrado el proyecto.					

Tabla 5.27: Plan de acción para implementación de nuevos equipos de climatización en ASMAR.

Respecto de la planificación del SGE, es necesario documentar:

- Informe anual de revisión energética y análisis de brechas (periodicidad: anual).
- Objetivos y metas energéticas (periodicidad: anual).
- Planes de acción energéticos (periodicidad: anual).
- Informe final de auditoría energética (periodicidad: anual).

5.2.9. Ejecución del SGE

La etapa de ejecución del SGE consiste en llevar a cabo día a día actividades que responden a los objetivos y metas generados en la fase de planificación y que abarcan:

- Concientizar a los colaboradores sobre la importancia de la gestión de la energía y capacitar en tópicos de aplicación práctica a la hora de mejorar el desempeño energético.
- Controlar el desempeño energético mediante acciones en la operación, diseño y adquisiciones en el alcance del SGE.
- Implementar de manera efectiva los planes de acción energéticos.

1) Concientización y capacitación

Durante el año, el equipo de gestión de la energía debe comunicar y capacitar en diferentes instancias a los colaboradores dentro del alcance del SGE.

Todas las personas involucradas en la operación de los USE, en los planes de acción y en el funcionamiento del SGE, deben conocer la política energética y tener conciencia de su contribución para la mejora del desempeño energético y efectividad del SGE, así como también las consecuencias de no cumplir los objetivos y metas del SGE.

2) Control operacional

El(la) gestor(a) energético(a) realiza el control operacional en el alcance del SGE. La finalidad del control operacional es garantizar una operación energéticamente eficiente, mediante el levantamiento de información y la aplicación de métodos de control ante elementos operacionales que generen el empeoramiento del desempeño energético.

A nivel de levantamiento de información, el(la) gestor(a) energético(a) debe:

a. Recolectar información de facturas de energía y reportarla al (la) responsable energético, explicando posibles causas del incremento o disminución del desempeño energético (periodicidad: mensual).

b. Catastro de equipos que necesitarán mantenciones el mes siguiente en los equipos de los USEn, saber qué configuraciones afectan a su desempeño energético y notificar al personal de mantenimiento y al responsable energético (periodicidad: mensual).

c. Revisión de parámetros operativos o ambientales críticos para el desempeño energético, expresadas en la revisión energética (por ejemplo, que exista una temperatura lo más estática posible como objetivo de climatización en invierno) (periodicidad: mensual).

d. Actualización del inventario de consumo y listado de equipos dentro del alcance del SGE (periodicidad: anual).

Respecto de los métodos de control, el(la) gestor(a) energético(a) debe:

a. Comunicar continuamente a los colaboradores que tengan que ver con los USE sobre parámetros operativos que impactan en el desempeño energético, y que ellos utilicen en el día a día (temperatura a la que se configuran equipos de aire acondicionado, horas de uso de computadores, uso de iluminación, etc).

b. En caso de observarse un incremento en el consumo respecto al mismo mes en el año anterior, debe comunicarlo a las autoridades y a la Alta Dirección en la reunión de seguimiento del SGE.

c. De ser necesario, levantar nuevas necesidades de capacitación.

Respecto de este eje de la ejecución del SGE, el(la) responsable energético(a) debe actualizar los IDE especificados en la planificación del SGE.

Los levantamientos de información (considerando la actualización de los IDE) y aplicación de métodos de control y sus resultados son presentados en la reunión de seguimiento del SGE en la que participa la Alta Dirección.

3) Diseño y adquisiciones

El(la) responsable energético(a) y el(la) gestor(a) energético(a), aparte del control operacional del desempeño energético, debe participar en el diseño de nuevos procesos así como en las adquisiciones de equipos en el alcance del SGE.

El objetivo de la participación del equipo de gestión de la energía en estos temas es que pueda optimizar el costo operacional de cada uno de los equipos, servicios a contratar y procesos a implementar mediante reducción de consumo energético futuro.

Para lograr esto se requiere que:

a. El equipo de gestión de la energía debe ser notificado de todos los proyectos, compras (de servicios y equipos) a realizarse en el alcance del SGE que tenga un posible impacto en el desempeño, especialmente aquellos que involucren activos que utilicen energía.

b. La Alta Dirección materialice su compromiso con la gestión de la energía e insista siempre en que los proyectos y adquisiciones consideren la dimensión energética y la comunicación al equipo de gestión de la energía.

c. El equipo de gestión de la energía debe colaborar con la Alta Dirección y Jefaturas, que sean dueños de proyectos, en la priorización de opciones de más eficientes energéticamente en todo su ciclo de vida y, de ser necesario, auditar o realizar estudios de ingeniería y cotizaciones en este contexto.

4) Implementación de planes de acción

El(la) responsable energético(a) y el(la) gestor(a) energético(a) deben revisar regularmente el progreso en la ejecución de los distintos planes de acción. Esto incluye la actualización de los avances y la comunicación de los logros y el tratamiento de las acciones que no progresen de acuerdo con lo programado. Respecto de lo anterior, específicamente, el(la) responsable energético(a) y el(la) gestor(a) energético(a) deben:

a. Actualizar la Carta Gantt de los planes de acción (periodicidad: semanal).

b. Identificar factores que hayan generado retrasos o adelantos en la planificación y documentarlos (periodicidad: semanal).

c. Mitigar los factores que hayan generado retraso o potenciar los factores que generaron adelanto, documentando el resultado de las acciones (periodicidad: semanal).

5) Reunión de seguimiento del SGE

La principal instancia de gobernanza referente a la ejecución del SGE corresponde a la reunión mensual de seguimiento, en ella se trata el estado de avance, brechas entre lo programado y lo logrado, planes de mitigación de brechas, compromisos y nuevos plazos para cada uno de los ejes de la ejecución del SGE, a saber: concientización y capacitación, comunicación, control operacional, diseño y adquisiciones e implementación de planes de acción.

Los participantes serán: la Alta Dirección y el equipo de gestión de la energía. Su estructura propuesta corresponde a:

a. Estado de avance de planes de acción - responsable energético: respecto a Carta Gantt del plan.

b. Brechas entre lo programado y lo logrado - responsable energético: factores que explican los retrasos (por ejemplo: (i) falta de compromiso por la Alta Dirección y, por ende, del personal operativo; (ii) falta de capacidad técnica; (iii) falta de recursos financieros, y; (iv) falta de comunicación y comprensión de expectativas) o bien, adelantos a la planificación establecida.

c. Propuesta de cierre de brechas en planes de acción - responsable energético: el equipo de gestión de energía presenta cómo resolvería las brechas presentadas.

d. Resumen de control operacional en el SGE - gestor energético: variaciones en IDE, mantenciones programadas, capacitaciones realizadas, iniciativas de colaboradores que desean participar en gestión energética, etc.

e. Resumen de concientización, capacitación y comunicación - responsable energético: principales hitos del mes, valoración de capacitación, nuevas necesidades.

f. Resumen de diseño y adquisiciones - Alta Dirección y responsable energético: la Alta Dirección establece cuáles son los proyectos que el mes siguiente necesitarán consideraciones energéticas y el responsable energético presenta cuáles han sido las medidas tomadas y recomendaciones realizadas del mes anterior.

De dicha reunión debe obtenerse una lista de compromisos por parte de altos directivos, en los que se especifiquen las acciones y plazos para cerrar las brechas entre lo programado y lo logrado, así como reconocimientos si es que el estado de avance de los planes de acción y la operación (en términos de energía) resulta satisfactoria.

5.2.10. Verificación del SGE

La etapa de verificación del SGE consiste en realizar actividades que permitan certificar que la etapa de ejecución haya tenido el resultado esperado, y, si no lo tuvo, explicar el por qué con un enfoque metódico.

1) Seguimiento, medición y análisis

El seguimiento, medición y análisis consiste en el proceso de revisión de los IDE, comparándolos con la LBE, obtenida de la revisión energética. De este proceso se obtienen informes que expliquen las causas de las variaciones del desempeño energético en la organización.

Es el(la) gestor(a) energético(a) el(la) responsable de generar los reportes en dos niveles de seguimiento, medición y análisis, uno relacionado al control operacional y, el otro, a la implementación de planes de acción.

Al realizar seguimiento a nivel de control operacional se considera el registrar y medir continuamente el comportamiento de los USE, como la operación y procesos diarios afectan al desempeño energético. Además, se requiere verificar si los métodos de control aplicados, capacitaciones, comunicación, acciones de diseño y adquisiciones generan el resultado esperado.

2) Auditoría interna

La finalidad de una auditoría interna consiste en verificar que el SGE esté funcionando de acuerdo con lo diseñado. Es habitual que se diseñe un sistema de gestión muy bueno, pero que en la práctica se ignore. No tiene ningún sentido tener un SGE si no se usa como corresponde.

Una vez al año, la Alta Dirección debe seleccionar un equipo auditor del SGE, el que puede pertenecer a la organización (siempre y cuando se cumpla el principio de imparcialidad, a presentar más adelante en este apartado), o externos. Garantizando que tengan conocimientos de auditoría de sistemas de gestión ISO o que hayan participado en la operación y/o implementación de alguno.

La designación del equipo debe incluir también la designación del(la) líder del equipo de auditoría interna. El equipo de auditoría seleccionado debe responder a los siguientes principios:

- **Integridad:** la auditoría debe realizarse de manera honesta, responsable, diligente y con profesionalismo. No debe dejarse fuera de la documentación ningún aspecto importante. Es

decir, que pueda generar a futuro una toma de decisiones desinformada a la organización o disminución del desempeño energético.

- **Presentación ecuánime:** obligación de reportar con veracidad y exactitud.
- **Confidencialidad:** discreción en el uso y protección de la información adquirida en el curso de la auditoría (incluyendo plan e informe).
- **Imparcialidad:** el equipo auditor seleccionado debe ser objetivo e imparcial, por lo que no debe presentar relación con las áreas auditadas.
- **Enfoque de evidencia:** los resultados de la auditoría deben ser verificables y generar confianza.

Adicionalmente, el equipo auditor debe contar con las competencias que le permitan inculcar a cada una de las partes involucradas la importancia de la labor de auditoría, sus beneficios y la relevancia de su colaboración en la entrega de información. Esto con la finalidad de reducir las resistencias internas que puede generar el proceso de auditoría interna.

A nivel de ejecución, las fases necesarias propuestas para la realización de la Auditoría son:

2.1) Planificación:

a) Selección del equipo auditor, considerando competencias y principios establecidos en este documento.

b) Elaboración del plan de auditoría interno, en conjunto con el responsable de la Alta Dirección. Debe considerarse: el alcance, los objetivos, los responsables de las no conformidades encontradas (en caso de que existan), auditados, fechas y horario de la auditoría (una vez acordado este plan, el responsable debe comunicarlo al personal que será auditado).

2.2) Desarrollo:

a) Realización de reunión de apertura, en conjunto con todo el personal auditado. Es la principal instancia para transmitir la importancia de la colaboración con la auditoría y reducir las resistencias internas.

b) Revisión de la documentación del SGE (especificados en este documento).

c) Realización de entrevistas a funcionarios(as) respecto de la gestión de la energía en la organización.

d) Generación de hallazgos, proceso en el que debe responder ¿Se están alcanzando los objetivos y las metas establecidos? ¿Se están siguiendo los planes de acción y los controles establecidos por la organización? ¿Es posible admitir que los procedimientos y planes establecidos por la organización conducirán a la mejora del SGE? ¿Hay pruebas de la mejora continua del desempeño energético?

2.3) Clasificación de hallazgos:
En caso de que los requisitos de la norma no estén siendo cumplidos en la práctica, el hallazgo se llamará no conformidad.

2.4) Elaboración de informe de auditoría, el que debe contener:

a) Objetivos de auditoría y alcance (identificar unidades organizacionales auditadas).

b) Equipo auditor.

c) Criterios (responde a qué implica no cumplir la norma) y metodologías utilizadas para contrastar la norma ISO 50001 contra el día a día del SGE (formularios, preguntas de entrevistas, etc.).

d) Hallazgo y evidencia relacionada (documentos, entrevistas, eventos observados, etc.).

e) Conclusiones.

El representante de la Alta Dirección debe revisar, aprobar y mandar a distribuir los resultados a los responsables de no conformidades establecidos en la planificación de la auditoría.

3) Tratamiento de no conformidades

Luego de la auditoría, los responsables de no conformidad, establecidos en la planificación de la auditoría interna al SGE, deben:

- Revisar las causas de no conformidad, mediante análisis de causa raíz.
- Tomar acciones preventivas y correctivas, considerando las conclusiones del análisis de causa raíz.
- Realizar una revisión de eficacia de las medidas tomadas, esta verificación consiste en comprobar que la no conformidad para la cual se ha tomado la medida, no se ha producido en un tiempo determinado. Cabe destacar que esta última aclaración implica que la revisión de eficacia no puede realizarse de manera inmediata, pues busca identificar recurrencias en un horizonte temporal.

Del tratamiento de no conformidades, debe obtenerse un informe de revisión de eficacia de acciones contra no conformidades, el que debe contener la identificación de la no conformidad (requisito ISO 50001 no cumplido) el análisis de causa raíz generado, las acciones a realizar y si en el horizonte temporal (generalmente semestral) las acciones tuvieron el efecto esperado.

4) Control de registros

Con tal de mantener la trazabilidad de cada una de las acciones y lecciones aprendidas en la gestión de SGE, incluyendo la mejora del desempeño energético, la solución de no conformidades, errores en la implementación, controles operacionales, etc., es necesario que exista un formato estándar para registrar la documentación y cada uno de sus cambios.

La información documentada debe almacenarse de forma que esté disponible, vigente y accesible para todas las partes interesadas en su contenido.

5) Documentación de la etapa de verificación del SGE

Respecto de la etapa de verificación del SGE se debe generar la siguiente documentación:

- Reporte de seguimiento, medición y análisis a nivel de control operacional (periodicidad: mensual).
- Plan de medición de la energía (periodicidad: a necesidad).
- Informes representativos de ahorro (periodicidad: a necesidad).
- Planificación de auditoría interna (periodicidad: anual).
- Informe de revisión de eficacia de acciones contra no conformidades (periodicidad: anual).
- Nota de ubicación de la información del SGE (periodicidad: a necesidad).

5.2.11. Actuar y etapa final del SGE

La etapa final del SGE consiste en consolidar la información de las etapas anteriores con tal de comprender las lecciones aprendidas, definir cambios estratégicos al SGE para el siguiente año, identificar medidas correctivas para eventuales desviaciones diagnosticadas y plantear nuevos objetivos y metas a medida que avanza el cumplimiento e implementación de planes de acción.

Esta fase posee una única actividad: la revisión de la Alta Dirección. Esta revisión debe realizarse al final de cada año y, de manera extraordinaria, cada vez en que ocurra algún suceso que implique el realizar cambios en la política energética o la ocurrencia de cambios en requisitos legales impuestos respecto de la energía, presupuesto para planes de acción u otro a necesidad de la Alta Dirección.

1) Revisión de Alta Dirección

Los participantes de la revisión de la Alta Dirección son la Alta Dirección y el equipo de gestión de la energía, definidos en la Sección 5.2.3. Si es que la Alta Dirección lo considera necesario, puede invitar a otros actores organizacionales que puedan generar mejora en la efectividad de la revisión (generalmente responsables de elementos del sistema como el control de los usos y consumos energéticos significativos, formación, registros, así como cualquier otro miembro de la organización de manera que los trabajadores puedan aportar sus inquietudes y experiencias).

El proceso de revisión por la Alta Dirección consisten en:

a. Establecer la naturaleza de la revisión (periódica o extraordinaria).

b. Definir el hecho que desencadenó la reunión. En caso de ser extraordinaria, sólo debe abarcarse entre los siguientes puntos aquellos que sean necesarios para resolver la contingencia.

c. Concluir en base a los inputs, el nivel de cumplimiento de los objetivos y metas, así como elementos que expliquen las desviaciones experimentadas.

d. Concluir respecto del proceso de fijación de objetivos y metas, principalmente si es que estos fueron la materialización de los compromisos establecidos en la política energética.

e. Identificar principales logros y fallas en la consecución de objetivos y metas, así como documentar los factores que generaron mejoras y pérdidas en el desempeño energético.

f. Identificar cambios normativos que impliquen modificar las fases, documentos o procesos asociados al SGE.

g. Concluir respecto a la necesidad de modificar la política energética.

h. Concluir respecto a la utilidad de los IDE definidos y si es necesario implementar nuevos o eliminar antiguos.

i. Concluir respecto a la efectividad de los controles operacionales e interacción del SGE en proyectos que afectan el desempeño energético en la organización.

j. Definir a alto nivel, de ser necesario, nuevos métodos de control operacional y vinculación del equipo de gestión de la energía en el diseño de procesos y definición de adquisiciones dentro del alcance del SGE.

k. Concluir respecto de la utilidad y pertinencia de la documentación del SGE, así como definir, de ser necesario, nuevos documentos y registros.

l. Concluir respecto a la efectividad del seguimiento, medición y análisis del SGE, así como el tratamiento de no conformidades.

m. Concluir sobre la correcta aplicación del presupuesto para el SGE, identificando factores que explican el desvío del mismo.

De la revisión, debe documentarse los puntos del proceso en el informe de revisión de la Alta Dirección y distribuir a Directores y Jefaturas dentro del alcance del SGE, así como a los participantes de la misma. De manera adicional, este documento, puede ser considerado para la planificación del SGE al mismo nivel que la revisión energética.

Sección 5.3
Propuestas de mejora energética

A continuación se presentan las propuestas factibles técnicamente, que fueron seleccionadas para el proyecto. Las propuestas se clasifican de acuerdo al criterio propuesto por la AgenciaSE presentado en la Tabla 5.28. Se debe notar que los cambios contractuales y normativos, relativos al uso y consumo de energía, se consideran como medidas de mejora.

Tipo de Medida	Descripción
A. Correcciones básicas	A.1 Rectificación de cobros y/o conformidades /incumplimiento de normativa.
	A.2 Cambios contractuales y en la adquisición de energéticos.
	A.3 Mantenimiento y reparaciones básicas de equipos.
B. Mejoramiento y control operacional	B.1 Control, programación y coordinación de uso de equipos.
	B.2 Control y ajuste manual de variables de operación.
	B.3 Mejoramiento de condiciones físicas del entorno con influencia al comportamiento operacional.
	B.4 Incorporación de sistemas automáticos/avanzados de control.
C. Mejoramiento tecnológico	C.1 Mejoramiento por reemplazo de componentes
	C.2 Mejoramiento por integración de componentes adicionales.
D. Recambio e innovación tecnológica	D.1 Reemplazo de equipos de alta inversión en sistemas o instalaciones por modelos de mayor eficiencia.
	D.2 Integración de elementos/sistemas adicionales que permiten el uso de fuentes adicionales de energía.
	D.3 Cambio o innovación tecnológica.

Tabla 5.28: Clasificación de medidas de eficiencia energética [11].

La factibilidad técnica de las propuestas de mejora de eficiencia energética se evaluó considerando la información disponible para la implementación y la posibilidad de realizar los cambios requeridos por la propuesta. Dado los alcances del estudio y siendo las primeras aproximaciones de la empresa a la intención de implementar un SGE, algunas propuestas corresponden a evaluaciones técnicas de sistemas y equipos más complejos existentes en la planta que puedan presentar usos significativos de energía.

En la Tabla 5.29 se presentan las propuestas de mejora energética según la clasificación y criterio propuesto por la AgenciaSE.

Uso energético	Tipo de MEE	Nombre de la medida de eficiencia energética
Operación	B.1	Estudio del impacto de la operación sobre consumo por climatización.
	B.1	Estudio del consumo energético por talleres.
	A.1	Monitoreo valor y consumo de petróleo.
	D.2	Implementación de sistema fotovoltaico con almacenamiento.
	A.1	Evaluación de la aislación térmica de hornos eléctricos y diésel.
	D.3	Implementación de medidores inteligentes en tableros generales. Zonificación eléctrica interna.
	B.4	Evaluación técnica para controlar arranque de motores.
	A.3	Mejorar el protocolo de mantenimiento.
	A.2	Estudio de demanda máxima en hora punta.
	D.1	Renovación hornos de cocción de motores.
Climatización	A.1	Monitoreo valor y consumo de Gas.
	A.3	Mantenimiento preventivo de aparatos de aire acondicionado.
	B.1	Evaluación de la aislación térmica en edificio administrativo, oficinas y baños.
	B.3	Mejorar aislamiento térmico en edificio administrativo, oficinas y baños.
	D.3	Reemplazo aire acondicionado por unos más eficientes y con tecnología inverter.
	D.2	Evaluación de instalación de un sistema de calentadores solares.
TICs	A.2	Concientización del uso eficiente de los recursos energéticos.
	B.1	Evitar dejar prendido los equipos TICs en caso de no ser necesario.
	C.2	Implementación de una red de internet paralela a la existente para uso de instrumentación de panel.
Iluminación	C.1	Reemplazo de luminarias incandescentes.
	A.2	Concientización del uso eficiente de los recursos energéticos.
	B.3	Implementación de señalética recordando importancia de ser eficiente en el consumo energético.
	C.2	Incorporar temporizadores/detectores de proximidad en zonas auxiliares.
	A.2	Aprovechar de mejor manera la luz natural evitando el uso innecesario de luminarias.
	C.2	Implementar luminaria exterior con paneles solares.

Tabla 5.29: Medidas de eficiencia energética propuestas para la planta ASMAR Valparaíso.

Sección 5.4

Implementación de paneles fotovoltaicos

Una de las iniciativas que la Alta Dirección mostró, es analizar (como plan de acción) la instalación de generación fotovoltaica, como una medida de disminución de los costos por facturación de suministro y garantizar que la fuente de energía con la que alimentan sus procesos sea renovable. Por otro lado, como opción también se encuentra el modelo ESCO, el cual le permite a los clientes no tener que contar con un presupuesto base para adquirir un proyecto fotovoltaico, de esta forma, se derriba la principal barrera que tienen las empresas al momento de querer trabajar con energías renovables, que sería el financiamiento. Mientras la ESCO se encarga de esto, la empresa contratista de estos servicios podrá destinar los recursos económicos a potenciar otras áreas que así lo requieran, obteniendo un doble beneficio.

Los períodos de contrato son a mediano/largo plazo, desde 10 años hasta 25 años, en los cuales la empresa ESCO venderá la energía a un precio menor que el distribuidor local, sin riesgos técnicos y sin riesgos financieros.

En la Figura 5.32 se presenta los resultados de un contrato de desempeño energético en el corto, mediano y largo plazo. Después del término del contrato, el cliente percibe el ahorro completo y la instalación, en este caso fotovoltaica, pasa a propiedad del cliente.

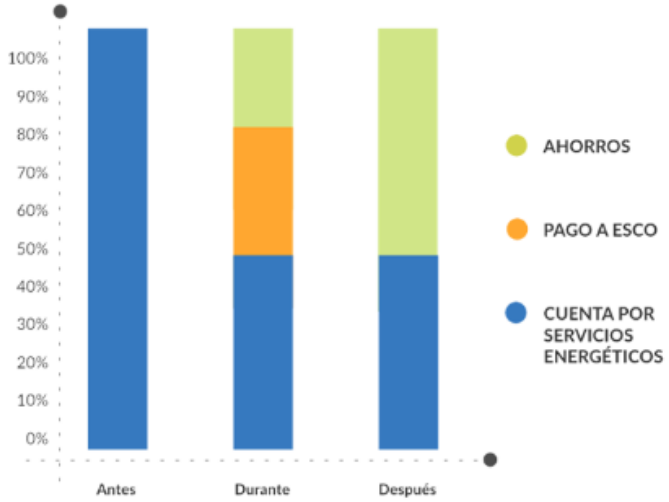


Figura 5.32: Esquema de resultados de un contrato de desempeño energético con una ESCO [41].

5.4.1. Capacidad energética

Para proyectar los ahorros que podrá generar la implementación de la planta fotovoltaica, la variable más importante es encontrar la capacidad, en términos de potencia. Se analiza la posibilidad de instalar un sistema fotovoltaico en los estacionamientos de ASMAR-V en un montaje paralelo a techumbre para poder utilizar los estacionamientos con una doble función, es decir, brindar sombra en los estacionamientos mientras se genera y consumo energía limpia.

Para lo anterior, se utiliza la herramienta Explorador Solar, del Ministerio de Energía de Chile (`https://solar.minenergia.cl/exploracion`), para ver el paso a paso de la estimación revisar el Anexo F.

Los resultados de la estimación de capacidad se ilustran en la Figura 5.33.

Figura 5.33: Estimación de la capacidad del sistema fotovoltaico proyectado para ASMAR Valparaíso.

5.4.2. Proyección de ahorros energéticos por el plan de acción

Desde la herramienta utilizada se puede obtener una proyección de la capacidad generada tanto diaria como anual para el caso de estudio. En la Figura 5.34 se observa la cantidad de energía generada durante 24 horas, por otro lado, la Figura 5.37 muestra la estimación de potencia generada en un horizonte de 12 años.

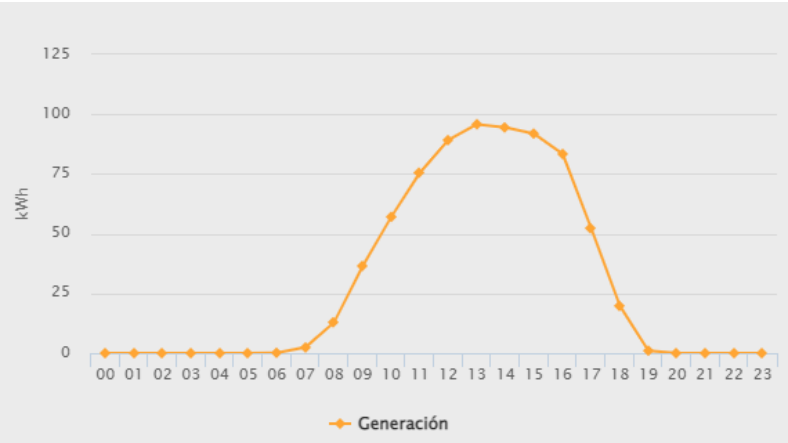


Figura 5.34: Proyección de la capacidad diaria del sistema fotovoltaico para ASMAR Valparaíso.

Para el análisis de la Figura 5.37 el sitio web considera una degradación de los paneles constante, incorporándolo a un factor de pérdidas general que resume todos los posibles efectos.

Para explicar los aumentos y decrementos de generación a lo largo del horizonte de 12 años se deben considerar tres aspectos: 1) la radiación directa, 2) la radiación difusa y 3) la nubosidad [29].

Como se puede observar en la Figura 5.35, la radiación directa tiene un comportamiento de disminución hasta el año 10 y desde el año 11 aumenta, mientras que la radiación difusa tiene un comportamiento inverso. El efecto agregado de ambos fenómenos explica en parte el comportamiento de la serie proyección de capacidad de generación.

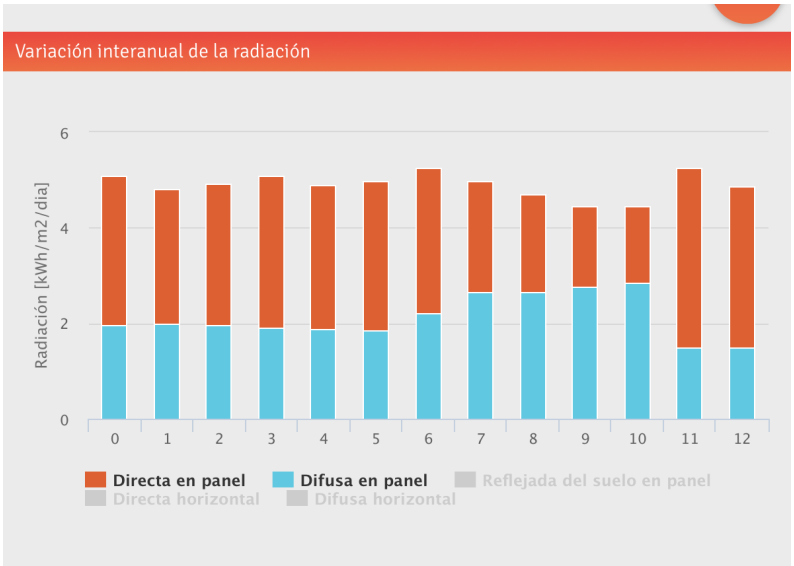


Figura 5.35: Variación de radiación directa y difusa en un horizonte de 12 años.

Finalmente, la explicación de la reducción en radiación total por un aumento de radiación difusa y disminución de radiación directa entre los años 8,9 y 10 seguido del fenómeno inverno en los años 10 y 11, se encuentra al observar el nivel de nubosidad en la zona ilustrado en la Figura 5.36. Por consiguiente la Figura 5.33 tiene un comportamiento inverso, explicando el por qué existe esta diferencia significativa en los años 10 al 11.

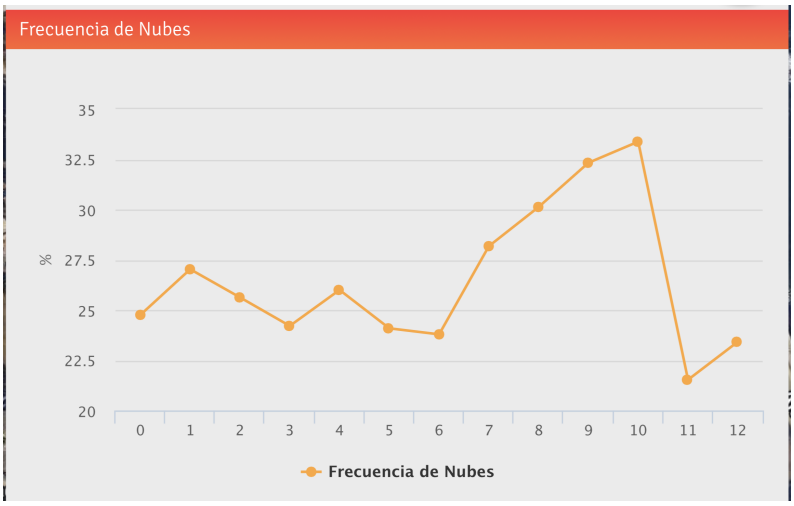


Figura 5.36: Frecuencia de nubosidad en zona geográfica de estudio.

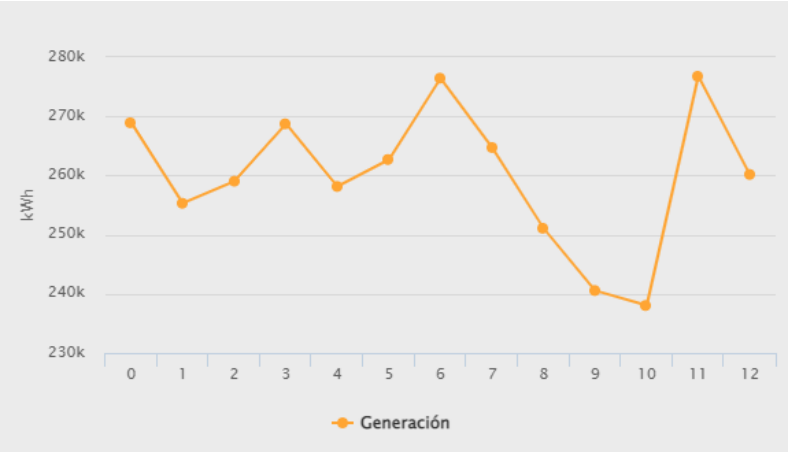


Figura 5.37: Proyección de la capacidad anual del sistema fotovoltaico para ASMAR Valparaíso.

5.4.3. Ahorros monetarios por concepto de energía

- **Costo de inversión de paneles fotovoltaicos para la planta a evaluar:** el Ministerio de Energía de Chile realizó un estudio respecto de los precios de la inversión para implementar plantas fotovoltaicas, cuyo resultado arrojo la Figura 5.38 de precio unitario por panel respecto al tamaño de la planta.

Costo proyectos llave en mano pesos chilenos [CLP/kWp]				
Rango de potencia [kWp]	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo
1 a 5	1.279.367	1.250.000	761.000	2.394.000
5 a 10	1.151.102	1.100.000	755.000	2.170.000
10 a 30	1.025.700	977.611	750.000	1.600.000
30 a 100	943.347	882.000	680.000	2.187.178
100 a 300	790.319	760.000	575.860	1.300.000
300 a 500	678.612	640.000	560.000	860.000
500 a 1.500	640.645	600.000	550.000	780.000

Figura 5.38: Costos declarados de proyectos llave en mano por rango de potencia 2020 en CLP, sin IVA [30].

De esto, se puede desprender un precio unitario por kWp para este estudio cercano a 760.000 [CLP/kWp], llegando a una inversión inicial de 174.800.000 [CLP].

- **Costo de mantenimiento de paneles fotovoltaicos**: según el reporte de índice de precios de sistemas fotovoltaicos [30] los costos por mantenimiento de paneles fotovoltaicos consisten en aproximadamente el 20 % de los costos totales del proyecto en su ciclo de vida. Considerando esto, los costos por mantenimiento son de 34.960.000 [CLP], unos 2.913.000 [CLP] cada año.

De acuerdo con la Figura 5.39 un 35 % equivale a los módulos fotovoltaicos, un 15 % a inversores y el 50 % restante a materiales eléctricos y de montajes e instalación. Dicho esto, el proyecto tendría un costo de aproximadamente 500.000.000 [CLP].

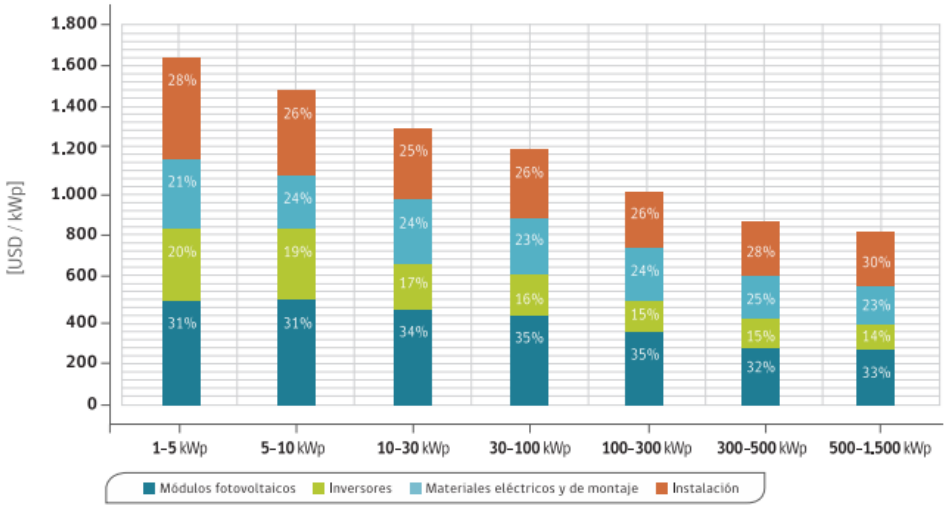


Figura 5.39: Distribución de costos de proyectos fotovoltaicos llave en mano por rangos de potencia 2020 [30].

- **Ganancias por generación eléctrica mediante ERV:** los ingresos por ahorros en el consumo energético se obtienen considerando lo obtenido en la estimación de generación anual de la Figura 5.40 y los precios de la energía según la tarifa de suministro con la que cuenta ASMAR-V (cliente libre).

Figura 5.40: Estimación de generación mensual del sistema fotovoltaico proyectado para ASMAR Valparaíso (kWh).

A modo de resumen, los parámetros a considerar en esta evaluación son los definidos en la Tabla 5.30.

Parámetros	**Valor**
Inflación anual [%]	3,00 %
Inversión inicial [CLP]	(174.800.000)
Costos de mantenimiento anual [CLP]	(2.913.000)
Tasa de descuento [%]	10,00 %
Período de retorno [años]	9
VAN [CLP]	(35.235.225)
TIR [%]	6
Ahorro anual (con IVA)[CLP]	21.658.000
Emisiones evitadas [$tonCO_2$/año]	107,52
Vida útil [años]	20
Tamaño del sistema [kW]	215

Tabla 5.30: Parámetros para evaluación económica de instalación de generación fotovoltaica en ASMAR-V.

Finalmente en la Tabla 5.31 se muestra el plan de acción para la implementación de paneles fotovoltaicos.

I. Datos de identificación del plan de acción					
Nombre plan	**Responsable**	**Fecha**	**Consideración de la política energética**	**Objetivo (eje)**	**Meta**
Estudio técnico económico paneles fotovoltaicos con almacenamiento	Responsable energético	dd/mm/aa	Implementar generación ERV	ERV	Operación
II. Impactos positivos potenciales					
1. Disminución de costos por autoconsumo de energía.					
2. Disminución de emisiones de GEI por generación de energía verde.					
3. Mejora el estatus de la empresa con el medioambiente.					
III. Aspectos legales a considerar.					
1. Legislación sobre pequeños medios de generación distribuida.					
2. Ley de Netbilling (Ley 20.571).					
3. Requisitos mínimos exigidos por la SEC de procedimientos y ensayos de acuerdo a las normas					
NCh-IEC 61215-1 y NCh-IEC 61215-2					
IV. Principales costos asociados.					
1. Estudios de ingeniería para dimensionamiento e implementación de los equipos.					
2. Pago de honorarios por la implementación.					
3. Inversión en equipos.					
4. Mantención y limpieza futura.					
V. Capacidades necesarias.					
1. Conocimiento y experiencia en dimensionamiento e instalación de una planta fotovoltaica.					
VI. Descripción del plan de acción.					
1. Realización de estudios de demanda energética, balance energético, dimensionamiento de equipos, requisitos legales y organizacionales para la instalación, cotización de inversión e instalación, con tal de escoger la mejor opción de proyecto.					
2. Definir fechas de instalación de los equipos y permisos necesarios.					
3. Gestionar orden de compra para la realización del proyecto con las áreas organizacionales pertinentes.					
4. Instalar los equipos, llevar a cabo y probar la puesta en marcha antes de dar por cerrado el proyecto.					

Tabla 5.31: Plan de acción para instalación de paneles fotovoltaicos con almacenamiento en ASMAR-V.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

Sección 6.1

Resumen final y conclusiones

Dentro de las limitaciones del estudio, es importante destacar que fue restringido el acceso a la información, por un lado, dado el carácter confidencial de la información al ser una empresa del área de la defensa del país. Además, por no pertenecer a esta institución. Por otro lado, debido a la carencia de mecanismos de registro de consumos energéticos por talleres de trabajo, mucha información fue estimada y no necesariamente un dato real de la situación actual de la planta. Lo cual dificultó la preparación de las bases de datos y limitó el universo a estudiar.

Respecto a la aplicabilidad de la normativa y futuros pasos hacia una certificación, debe considerarse las brechas existentes entre los procesos actuales de energía y el cumplimiento cabal de los requisitos establecidos en la norma ISO 50001. Los resultados del análisis de brechas aplicados muestran que estos no superan el 10 % de cumplimiento en los requisitos de la norma. Sin embargo, el 60 % de los requisitos son viables de aplicar y solo el 17 % no son posibles de cumplir en la actualidad.

Detallando por conjunto de requisitos, sobre las responsabilidades de la administración y la política energética, en las entrevistas del análisis de brechas los encargados reconocen que les interesa poder reducir sus costos y consumos de energía, así como considerar relevante y útil el poder implementar un esquema que permita reducir los impactos ambientales de las operaciones, aunque en la actualidad no se tiene una política.

En lo referente a la planificación energética y comprobación del desempeño energético por parte de ASMAR, se tiene acceso a las facturas de suministro de energía pero no se analiza el consumo ni el desempeño energético debido a que no existe un encargado para la gestión de la energía.

A nivel de implementación y operación, se reconoce la intención de invertir en iluminación eficiente, pero no identifican otros usos de energía como potenciales elementos importante para reducir sus consumos eléctricos. Si bien existen intenciones aisladas de invertir en energías renovables variable, no se han realizado estudios de factibilidad técnica-económica.

Los usos más significativos de consumo de energía están dado por el tipo de uso energético operación, principalmente al uso continuo de compresores de aire, hornos (eléctricos y diésel) y puentes grúas, correspondiendo a un 62,26 % del consumo energético total. Seguido de climatización con un 16,06 %, principalmente a calefacción habitacional y de agua sanitaria. Debido a que estos usos significativos de energía presentan cerca del 80 % del consumo energético, de acuerdo con el diagrama de Pareto, se debiesen focalizar los recursos y esfuerzos en mejorar el rendimiento energético de las actividades organizacionales relacionadas con estos usos de energía.

En esta línea, la política energética levantada considera que lo que se debe privilegiar, es enfocarse en llevar a sus procesos conocimientos técnicos sobre energía y conciencia haciendo énfasis en la importancia de la disminución del consumo energético y gases de efecto invernadero, así como implementar nuevas tecnologías más eficientes, abarcando más allá de la iluminación.

A nivel de diseño, los roles y responsabilidades están definidos de manera que se cubra un perfil técnico (gestor de energía) y uno funcional (responsable de energía) que abarcan, en conjunto al representante de la Alta Dirección, el seguimiento y liderazgo en la ejecución de cada uno de los

requisitos de la normativa, así como la definición e implementación de los planes de acción para la consecución de objetivos y metas energéticas.

El modelo matemático para la línea base energética propuesto si bien, posee una pendiente positiva esperada, que indica mientras mayores son las horas hombre utilizadas mayor es el consumo energético, y frente al análisis estadístico resulta ser significativo. No obstante, no demuestra una relación fuerte entre las variables, lo que se confirma con un coeficiente de correlación R^2 igual a 0,65, siendo recomendado para los análisis energéticos un valor de 0,75 o mayor. Concluyéndose que las variables analizadas no son representativas entre el consumo y la producción de la organización pero si considerado una aproximación moderada.

La línea base energética meta en cambio, posee un coeficiente de correlación R^2 igual a 0,92, debido a que se consideraron todos los valores por debajo de la línea base energética del modelo matemático, consideradas como las mejores operaciones. Como estas pueden repetirse, así como también el nivel de variabilidad operacional de todas las operaciones, el ahorro meta puede ser de 8,38 % del consumo energético solo considerando control operacional sin cambios ni modificaciones tecnológicas.

El indicador de consumo refleja que el 46 % de datos analizados se encuentran por sobre la curva de *IC* evidenciando el alto grado de ineficiencia que está asociado a la producción. Mediante el cálculo del índice de consumo promedio con el que ha trabajado la organización antes de la nueva planificación de la producción y un índice de consumo crítico se puede obtener un ahorro potencial equivalente al 4,09 % del consumo energético promedio total. Ahorro potencial determinado al trabajar a valores de *IC* por debajo de la producción crítica.

El indicador de desempeño energético base 100 por su parte relaciona el consumo de energía con la producción, por lo tanto, se espera que este indicador sea mayor a 100 %. Es decir, que la energía consumida en el nuevo período es menor a la estimada según la línea base energética propuesta y, por tanto, habrá mejorado la eficiencia energética.

El indicador *CUSUM* identifica que entre los meses de octubre del año 2020 a marzo del año 2021 y desde noviembre a diciembre del año 2021, los procesos operaron de forma eficiente. Por otro lado, entre abril y octubre del año 2021 los procesos operaron de forma ineficiente. En los otros rangos de meses hubo oscilación de eficiencia.

Los indicadores propuestos son solo una referencia que puede ser usada al momento de implementar el SGE pues deben ser evaluados, determinados y aprobados por la Alta Dirección. La viabilidad del conjunto de indicadores definidos se manifestará en la medida que se empleen para evaluar los procesos y se vayan ajustando a la realidad de los mismos. En la práctica se deben encontrar las causas que provocan comportamientos anormales de la producción y los consumos de electricidad respecto de su comportamiento histórico, ya que pueden constituir potenciales para el incremento de la eficiencia de la planta.

De acuerdo a la implementación de un sistema fotovoltaico si bien tiene un TIR de 6 % y un payback al año 9, es inviable económicamente debido a que el VAN es negativo (-35.235.225 [CLP]). Por lo que se sugiere realizar el mismo análisis pero considerando un subsidio o préstamo y comparar con la opción de contratar una ESCO.

Como señala la literatura luego de la implementación de un SGE se comienzan a percibir ahorros de entre un 5-20 %. Se establece como meta para el primer año de implementación una reducción de un 5 %, como resultado del análisis (IC y LBE meta) donde se obtuvieron ahorros energéticos, por trabajar de forma más eficiente, en torno al 5 %.

Sección 6.2

Trabajos futuros

Como continuación de este estudio y como en cualquier otro proyecto, existen diversas líneas de investigación que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando. Durante el desarrollo de esta trabajo han surgido algunas líneas futuras que se han dejado abiertas y que se esperan desarrollar en un futuro. Algunas de ellas están directamente relacionadas con este estudio y son el resultado de cuestiones que han ido surgiendo durante la realización de esta. Otras, son líneas más generales que, sin embargo, no son objeto de esta investigación.

A continuación, se presentan algunos trabajos futuros que pueden desarrollarse como resultado de esta investigación o que exceden los alcances de esta investigación y por tanto, no han podido ser tratados con la suficiente profundidad. Entre los que se pueden destacar:

- Al momento del inventariado para posteriormente analizar el consumo eléctrico teórico (balance energético) considerar la potencia de arranque de los equipamientos inductivos.
- Considerar dentro del análisis un universo de datos más amplio, ya que no basta con tan solo los datos (12) de la facturación de suministro eléctrico. Por lo que se recomienda tener mediciones periódicas o permanentes durante al menos un año, tanto para electricidad como gas y petróleo. Además, considerar los grados días, temperatura ambiente y estaciones del año para el análisis de línea base energética.
- Considerar las horas extras de trabajo que se efectúan en horario fuera de lo normal y como estas modifican la revisión energética.
- Recopilación de facturas de gas y diésel para incluir estos consumos energéticos en el análisis de línea base energética.
- Una vez realizado los puntos anteriores, recalcular indicadores de desempeño energético a nivel global como por talleres.
- Por último, verificar los ahorros generados al implementar calefactores solares y generación solar fotovoltaica situada en primera instancia en los estacionamientos de ASMAR-V o estudiar la posibilidad de ubicarlos en la techumbre del recinto.

Bibliografía

Bibliografía

[1] Ley Nº 20.285: Transparencia Activa ASMAR.
Fuente: `https://www.asmar.cl/ley-no-20-285-transparencia-activa`

[2] Kris Szajdzicki. *«Measuring & Maintaining Energy Efficiency, Smart approach to implementing ISO 50001:2011»*, 2017 (pp. 1-4).

[3] P. Poveda-Orjuela, J. García-Díaz, A Pulido-Rojano y G. Cañón-Zabala. *«ISO 50001:2018 and Its Application in a comprehensive management system with an energy-performance focus»*, 2019 (pp. 1-7).

[4] Carlos Pérez Parra, Ingeniero de Producción taller electricidad - ASMAR Valparaíso. *«Estudio de calidad de Energía Tablero general ASMAR»*, agosto 2020.

[5] Mauricio Adrián Vargas, Ingeniero Eléctrico. *«Diagnóstico de gestión de energía basado en ISO 50001 para ASMAR Valparaíso»*, 2020.

[6] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. *«Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026»*, noviembre, 2021.

[7] Ley de Eficiencia Energética Nº 21.305. *«Reglamento sobre Gestión Energética de los consumidores con capacidad de Gestión de la Energía y de los organismos públicos»*, febrero 2021.
Fuente: `http://bcn.cl/2nn0z`

[8] Decreto 163 EXENTO. *«Criterios para determinar empresas que deberán reportar anualmente su información energética»*, Agosto 2021.
Fuente: `http://bcn.cl/2r20a`

[9] Compete4SECAP C4S, Team up for energy. *«Energy management system (EnMS) guidebook for local authorities»*, Europe, 2018.
Fuente: `https://compete4secap.eu/`

[10] Norma Chilena, NCh-ISO 50001:2018. *«Sistema de Gestión de la Energía: requisitos con orientación para su uso»*, 2018.

[11] Agencia de sostenibilidad energética. *«Guía de implementación de Sistemas de Gestión de Energía basados en ISO 50001»*, Cuarta edición, septiembre 2018.

[12] Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, Eficiencia Energética Industrial. *«Guía práctica para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía»*, 2015.

[13] Rihad Fadhel Khelifa, Khalef Jelassi. *«An energy monitoring and management system based on Key Performance Indicators»*, 2016 (pp. 1-4).

[14] C.J Porras, F. Ruiz, J. fuentes. J.L García. *«Indicadores clave de rendimiento KPIs sobre eficiencia energética en la industria agroalimentaria»*, Universidad Politécnica de Madrid, 2019.

[15] Norma Chilena, NCh ISO 50006. *«Sistema de Gestión de la Energía: medición del desempeño energético utilizando línea base de energía e indicadores de desempeño energético»*, junio 2015.

[16] Bitrish Petroleum Company. *«Statistical Review of World Energy»*, 70th edition, 2021.

[17] Naciones Unidas, Objetivos de Desarrollo Sostenible. *«Campaña sobre cambio climático»*
Fuente: `https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-action/`

[18] Acción por el clima, ¿Por qué es importante?. *«Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos»*, 2019.
Fuente: `https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-action/`

[19] Artículo publicado en Naciones Unidas, acción por el clima. *«¿Qué es el cambio climático?»*
Fuente: `https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change`

[20] La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26). *«Juntos por el planeta»*, 2021.
Fuente: `https://www.un.org/es/climatechange/cop26`

[21] David Eyton, Group head of technology. *«BP Technology Outlook 2018»*, march 2018.

[22] Coordinador Eléctrico Nacional. *«Informe mensual»*, diciembre 2021.

[23] Generadoras de Chile. *«Características del Sistema Eléctrico Nacional»*, diciembre 2021.
Fuente: `http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile`.

[24] Biminitro de Energía y Minería, Juan Carlos Jobet, *«Plan de retiro del carbón»*, abril 2021.

[25] Asesoría Técnica Parlamentaria. *«Matriz energética y eléctrica en Chile»*, septiembre 2021.

[26] Asociación Nacional de Empresas de Eficiencia Energética, ANESCO Chile A.G. *«¿Qué es Eficiencia Energética»*, 2018.

[27] Pablo Zamorano Negretti. *«Análisis de brechas e implementación de un Sistema de Gestión Energética basado en ISO 50001 en Campus Universidad de Chile»*, Julio 2014.

[28] Efficiency Valuation Organization, Protocolo Internacional de Medida y Verificación. *«Conceptos y Opciones para Determinar ahorro de Energía y Agua Vol.1»*, septiembre 2010.

[29] Alejandra Molina, Fracisco Martinez, Ministerio de Energía. *«Modelo de generación fotovoltaica»*, marzo 2017.

[30] Energías renovables para autoconsumo. *«Índice d precios de sistema fotovoltaicos»*, 2020.

Referencia figuras

[31] Foto referencial hidrolavadora manual, taller electricidad - HSE-1002-0MM11.
Fuente: `https://bit.ly/3SPJOMa`

[32] Foto referencial hidrolavadora industrial de cabina, taller combustión interna.
Fuente: `https://bit.ly/3SKZt4a`

[33] Foto referencial puente grúa de 20 toneladas.
Fuente: `https://bit.ly/3fUIrSK`

[34] Foto referencial torno multiherramienta, taller mécanica.
Fuente: `https://bit.ly/3CN4Oh7`

[35] Foto referencial grupo generador de 700 kVA.
Fuente: `https://bit.ly/3SNRymB`

[36] Foto referencial compresor de tornillo sin aceite y con enfriamiento por aire.
Fuente: `https://bit.ly/3fVERYh`

[37] Foto referencial de sistema de recubrimiento high velocity air fuel, taller de estructuras.
Fuente: `https://bit.ly/3MlY8OI`

[38] Foto referencial cortado de plasma Hypertherm HPR400XD, taller de estructuras. Fuente: https://bit.ly/3edQqde

[39] Fotografía de la planta industrial de ASMAR Valparaíso. Fuente: https://www.asmar.cl/astilleros/valparaiso.

[40] Sitio web de ASMAR. Fuente: https://www.asmar.cl/corporacion/

[41] Modelo ESCO - Gestiona energía. Fuente: https://mipymes.gestionaenergia.cl/modelo-esco

Referencia anexos

[42] ASMAR, *«Memoria anual y Estados financieros»*, 2020.

[43] Ley Nº 18.296, *«Ley orgánica de los Astilleros y Maestranzas de la Armada»*. Fuente: http://bcn.cl/2k3ma.

Anexos

Anexo A

Organización

Sección A.1

Memoria anual

ASMAR-V es uno de las tres instalaciones que posee la empresa de reparación y construcción naval más grande e importante de Chile.

Durante el año 2020, ASMAR-V, se vio afectado por la Pandemia del COVID-19, declarada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) a principios del año 2020 y su posterior arribo al país, a contar del 3 de marzo del mismo año. Donde el Gobierno de Chile declaró Estado de Excepción Constitucional en el territorio nacional, lo que se mantuvo durante todo el año. Generándose disminuciones en las ganancias brutas y en disminución de los gastos de administración, principalmente por la crisis económica que trajo el COVID-19 dado por una menor capacidad de producción.

Durante el año 2021, se vivió un escenario similar de Pandemia, sin embargo se pudo tener un año más regular sin intermitencia de trabajos y cuarentenas, pudiéndose realizar más trabajos durante el año, aumentando la capacidad de producción en comparación al año anterior.

En promedio mensualmente durante el año 2020 se realizaron trabajos equivalentes a 29.600 HH, realizadas por 345 trabajadores. Un consumo eléctrico mensual promedio equivalente a 76.825 kWh.

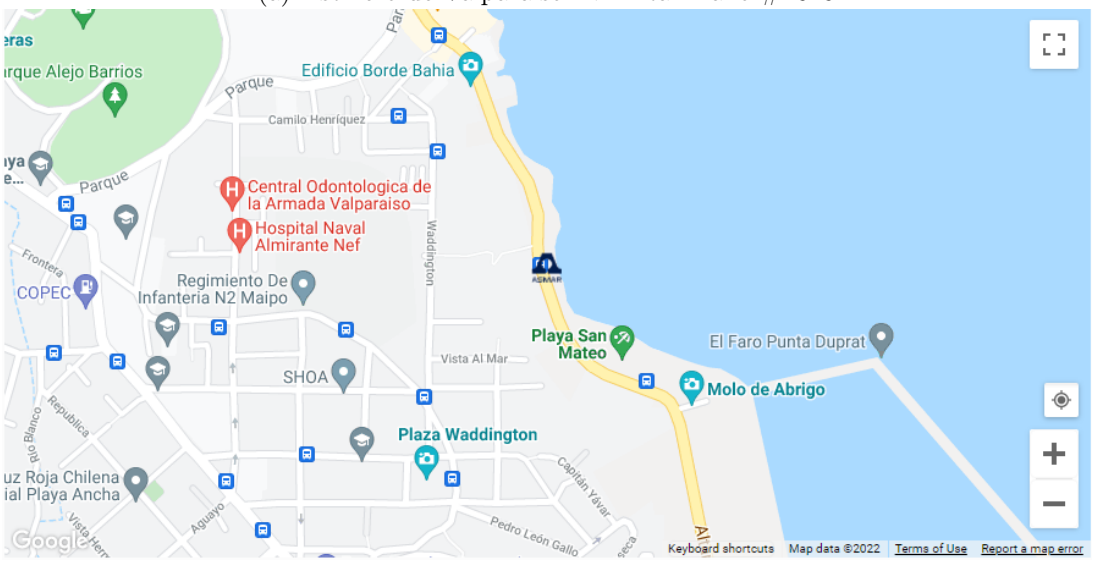
Por otro lado, durante el año 2021 se realizaron trabajos equivalentes a 31.006 HH, realizadas por 335 trabajadores y un consumo eléctrico equivalente a 82.029 kWh [42]. Un incremento de 6,34 % en consumo de electricidad respecto al año 2020, mayoritariamente impulsado por la mejora de actividades durante el año y al no tener pausas de trabajos debido a cuarentenas.

Sección A.2

Ubicación

ASMAR-V se encuentra ubicado en la ciudad de Valparaíso (Quinta Región) a un costado del molo de abrigo de la Armada de Chile, específicamente en Avenida Altamirano # 1015.

(a) Astillero de Valparaíso Av. Altamirano #1015



(b) Ubicación geografía de ASMAR-V

Figura A.1: Ubicación geográfica de la planta industrial ASMAR Valparaíso.

Sección A.3

Organigrama de la Dirección de ASMAR Valparaíso

El Director de ASMAR, en conformidad con el artículo 6 de la Ley 18.296, es el representante legal de la empresa. Entre sus principales funciones están las facultades para ejecutar o celebrar todos los actos y contratos necesarios para la administración ordinaria de ASMAR, y de dar cumplimiento a las disposiciones del Consejo Superior.

Para el cumplimiento de tales propósitos, ASMAR cuenta en su organización con un Subdirector, una Gerencia corporativa de planificación y desarrollo; un staff de asesores conformado por una fiscalía, auditoría interna, una Gerencia de asuntos corporativos y un secretario general; dos Gerencias con funciones y visión de mercado en los ámbito comercial, reparaciones Armada, buques mercantes/pesqueros y construcción Naval; una Gerencia de Finanzas corporativa, y una Gerencia con funciones de apoyo interno a las unidades de negocios y transversales a toda la empresa, en los ámbitos de recursos humanos y relaciones laborales. Además, existe un representante del Director para el sistema de gestión de la calidad.

La tarea fundamental de la Dirección de ASMAR como Corporación, es la conducción estratégica y operacional de la empresa con el objeto de dar cumplimiento a los objetivos establecidos en su Ley Orgánica y la planificación estratégica vigente [43].

Las unidades operativas de ASMAR están constituidas por tres plantas industriales ubicadas en Valparaíso, Talcahuano y Punta Arenas.

En la Figura A.2 se presenta el organigrama de la Dirección de ASMAR en conjunto con los administradores de cada planta.

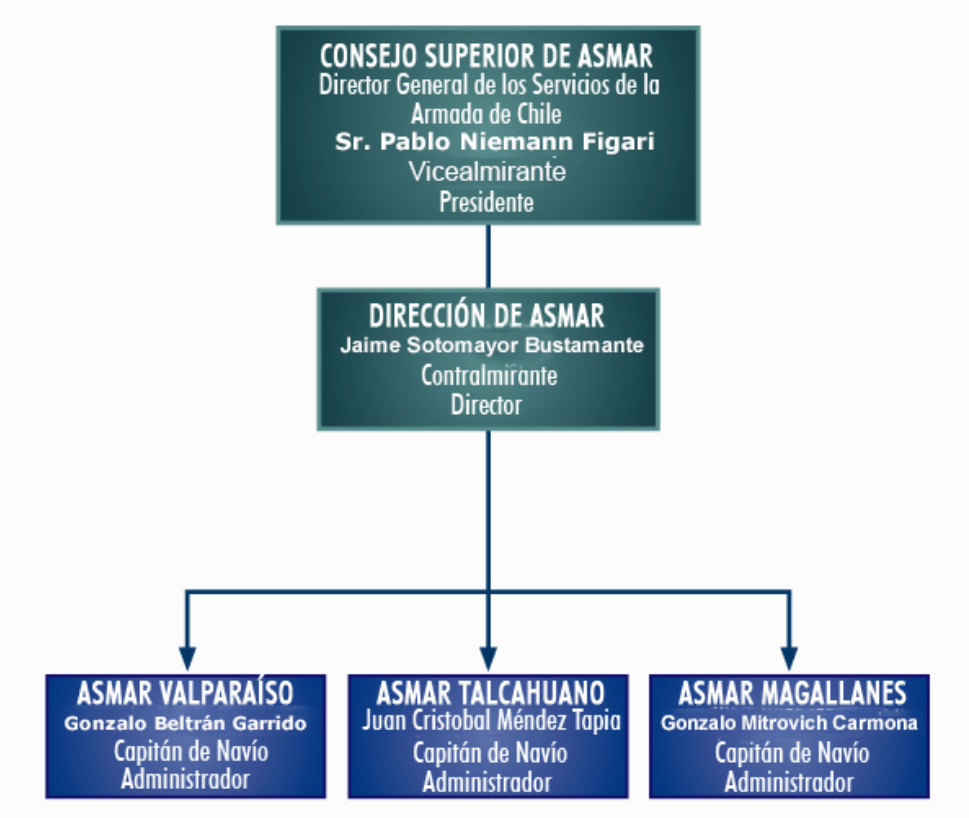


Figura A.2: Organigrama de la Dirección de ASMAR, cambio de mando diciembre 2021.

Sección A.4

Áreas de trabajo

En esta Sección se describen las áreas de trabajo con las que cuenta ASMAR-V.

A.4.1. Edificio Administrativo

Es en donde se desarrollan las actividades de gestión, planificación, recursos humanos y venta de servicios con los que cuenta ASMAR.

A.4.2. Taller de electricidad y electrónica

El taller de electricidad se especializa en detección de fallas, reparación y mantenimiento preventivos y correctivos a maquinarias eléctricas rotatorias de corriente alterna y corriente continua. Canalizaciones eléctricas de alta y baja tensión en circuitos de poder y alumbrado, fabricación y montaje de tableros eléctricos, balanceamiento de máquinas rotatorias, bobinados, pruebas dinámicas, banco de prueba AVTRON para generadores y alternadores eléctricos.

Por su parte, el taller de electrónica se especializa en reparación y mantenimiento de equipos electrónicos en general, así como la instalación de sistemas de seguridad, comunicaciones, navegación y combate. Inspección y diagnóstico de tarjetas de circuitos impresos TCI, instalación de sistemas de seguridad, acceso biométrico y vigilancia por CCTV vía TCP/IP, instalación y automatización de sistemas de armamentos y defensa, instalación de sistemas de televisión satelital.

A.4.3. Taller de combustión interna

Se realizan tareas de reacondicionamiento de motores de combustión interna hasta potencias de 65.000 HP, incluyendo inspección dimensional, desmonte y desarme (dependiendo del tamaño), limpieza química, prueba hidráulica, reparación y ajuste, pintado, montaje, emisión de informes técnicos, diagnóstico, reparación de turbo cargadores y banco de pruebas hasta 2.100 HP y 4.000 RPM.

Reacondicionamiento total o parcial de compresores de aire recíprocos y centrífugos de alta, media y baja presión en sus diversos rangos de capacidad.

A.4.4. Taller de estructuras

El taller de estructuras realiza confección, reparación e instalación y trabajos de estructuras en general en planchas, empleando acero de carbono, acero inoxidable, acero galvanizado, aceros especiales y aleaciones de aluminio. Además, la fabricación de muebles y consolas, ductos de aires, ventiladores, cajas para tableros eléctricos, silenciadores, filtros de aire,agua o petróleo, galpones, escaleras y estructuras metálicas.

A.4.5. Taller de aceros

El taller de aceros se especializa en reparación de naves a flote con procedimientos aprobados por Sociedades Clasificadoras (acero y aluminio). Fabricación de estanques de combustibles líquidos, cilindrado de planchas, plegado de planchas, prensado, pruebas neumáticas a estanques.

A.4.6. Taller de mecánica

Mantenimiento y reparación de líneas de eje, hélices CPP y FPP, palas de timón, sistemas de gobierno y maquinaria de cubierta. Cuenta con equipo de pruebas en banco, mantenimiento, reparación de válvulas y bombas. Fabricación de piezas mecánicas por fundición y mecanizadas en máquinas de alta precisión y tornos CNC.

A.4.7. Taller de carpintería

El taller de carpintería realiza la función de mueblería y carpintería general. Habitabilidad, confecciones y acabado de muebles y revestimientos de maderas finas en cámaras y camarotes, confección de pastecas, cuadernales, masteleros, enjaretados, empaletados y forros de bodegas. Reparación e instalación de maderamen de cubiertas, verduguetes y costados de embarcaciones y buques, confección de puntales, pasarelas, tangones, mástiles, botavaras, remos, astas, caballetes, tapones, etc.

A.4.8. Taller de pintura y sector granallado

El taller de pintura realiza preparación de superficies en cascos, estructuras, equipos auxiliares y estanques, por método abrasivo ecológico Garnet y granalla metálica. Limpieza manual, recuperación de esquemas y abolladuras. Pintura a pequeñas embarcaciones en obra viva, obra muerta y a grandes embarcaciones en superestructura, cubiertas, estanques e interiores por método Airless; aplicación de pintura de alto volumen sólido, tales como: Spray Guard, pintado convencional con pistola para esquemas epóxicos, alquílicos y poliuretano. Aplicación de esquemas en uates.

A.4.9. Taller de botes PUMAR

El taller de botes PUMAR es donde se inspeccionan, reparan y fabrican estructuras neumáticas en neopreno. Proyectos especiales en plásticos reforzados con fibra de vidrio, fabricación de estructuras neumáticas especiales. Fabricación de materiales compuestos para uso militar e industrial. Fabricación de blindajes de placas balísticas ligeras. Laminación por infusión al vacío de fibras de Vidrio, fibra de carbono y fibras de Kevlar.

PUMAR es la línea de botes neumáticos y semi rígidos producidos por ASMAR en su planta industrial de Valparaíso.

Sección A.5

Capacidades y producción en ASMAR Valparaíso

La actividad principal de ASMAR es reparar y carenar las unidades navales de la Armada. También podrá atender la reparación y carena de naves y artefactos navales nacionales y extranjeros. Fabricar y reparar artículos industriales para fines de seguridad nacional y construir naves y artefactos navales para la Armada y para terceros. ASMAR podrá además, efectuar trabajos a las unidades y reparticiones terrestres de la Armada y de las instituciones de la Defensa Nacional [43].

Dentro de las instalaciones de ASMAR-V como se menciono en la Sección A.4 se llevan a cabo distintas capacidades, tales como:

a) Aislamiento térmico

b) Calderas e intercambiadores de calor

c) Cañerías

d) Carpintería

e) Pinturas

f) Máquinas de combustión interna y turbo cargadores

g) Mantención de turbinas a gas

h) Máquinas eléctricas, protecciones y accesorios

i) Electrónica

j) Planchas y perfiles de acero

k) Estructuras y soldaduras

l) Ingeniería

m) Máquinas de torneado - herramientas

n) Pruebas hidráulicas

ñ) Recuperación de partes y piezas

o) Metrología

En el ámbito de la producción, no existe un producto o trabajo específico por lo que no se posee una variable de medición exacta de la producción y por tanto difícil de comparar con otra organización. Sino que ASMAR cuenta con una proyección estimada anual de las horas hombre a necesitar para realizar distintas tareas que la planta pueda efectuar.

En la Figura A.3 y Figura A.4 se presentan las horas hombres ejecutadas durante enero del año 2020 y octubre del 2021, incluyendo la proyección hasta diciembre de 2021 (información facilitada por el departamento de planificación).

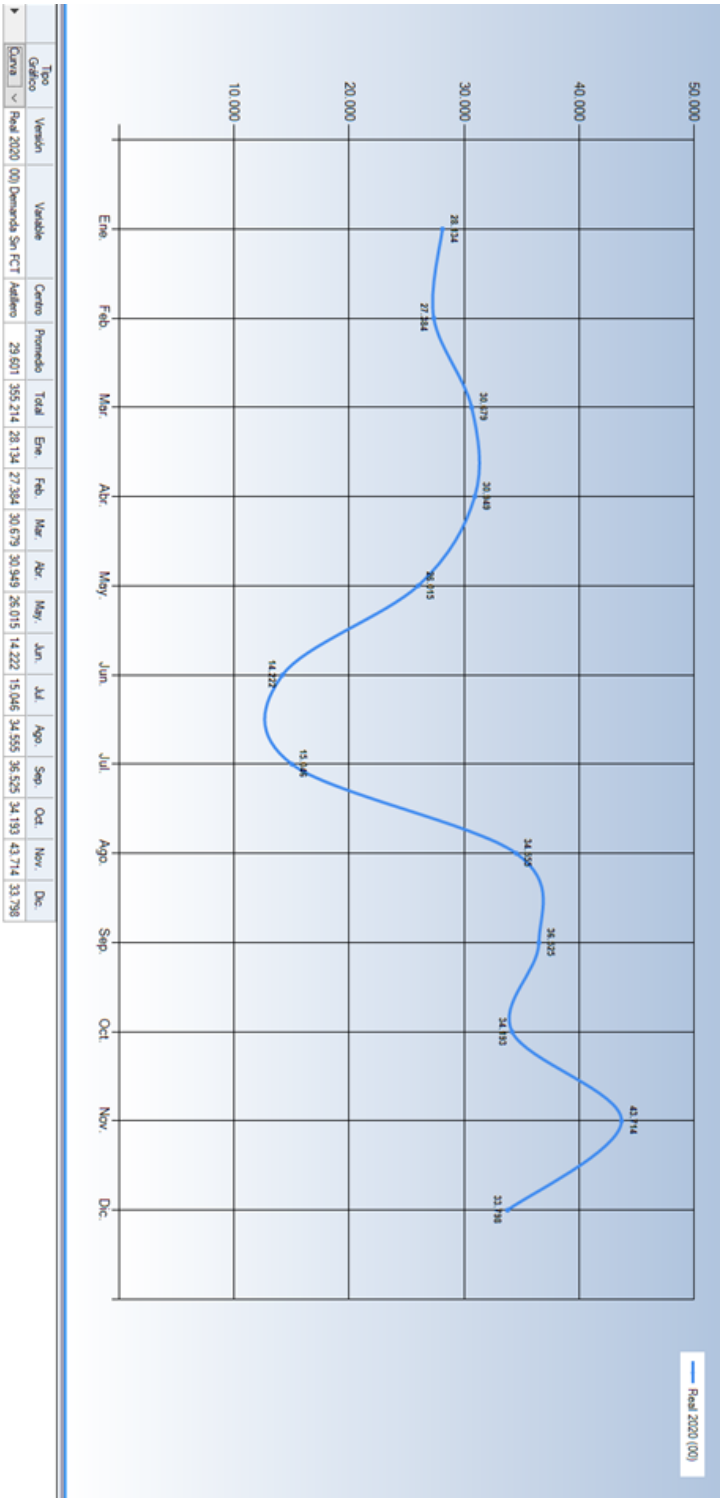
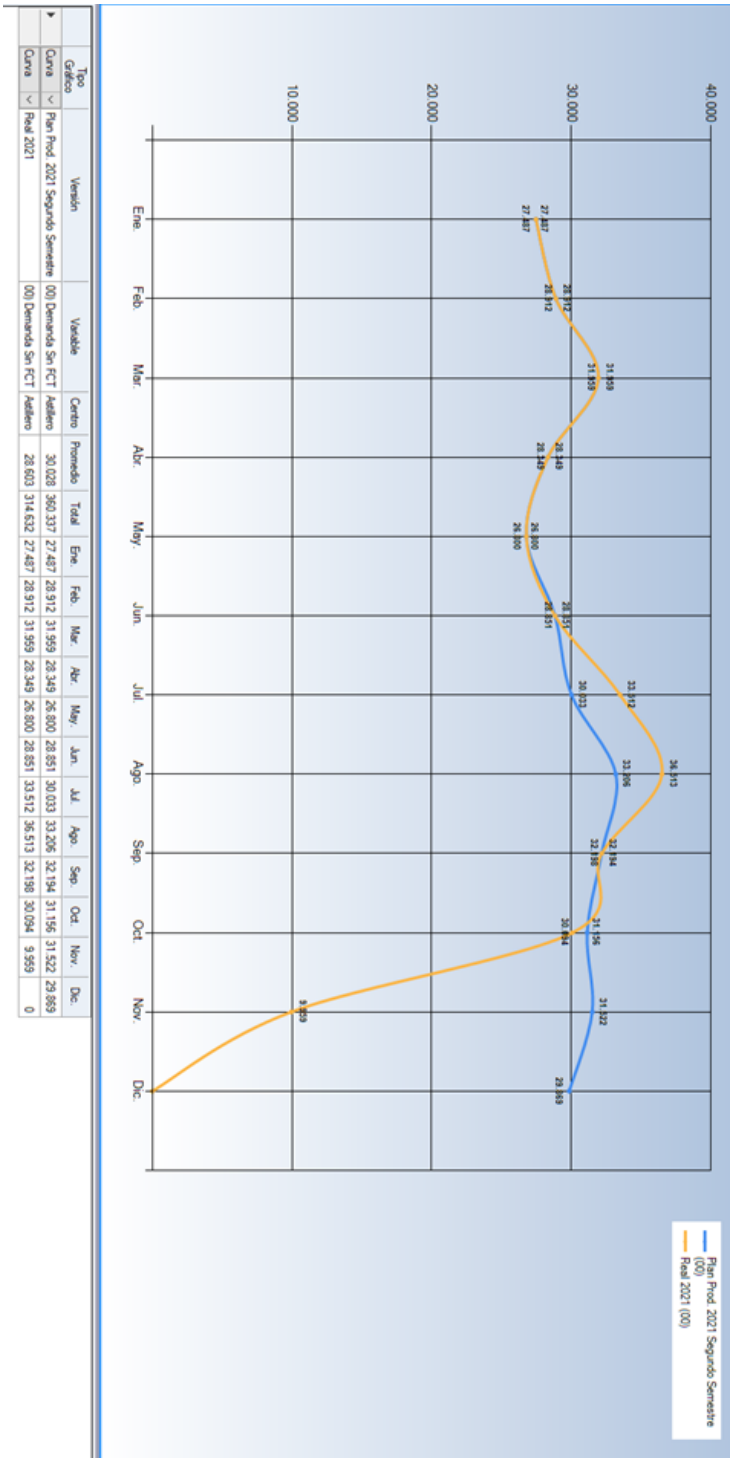


Figura A.3: HH reales ejecutadas en el año 2020.



Tipo Gráfico	Versión	Variable	Centro	Promedio	Total	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Curva	Plan Prod. 2021 Segundo Semestre	(00) Demanda Sin FCT	Astillero	30.028	360.337	27.487	28.912	31.959	28.349	26.800	28.851	30.033	33.206	32.194	31.156	31.522	29.869
Curva	Real 2021	(00) Demanda Sin FCT	Astillero	28.603	314.632	27.487	28.912	31.959	28.349	26.800	28.851	33.512	36.513	32.198	30.094	9.959	0

Figura A.4: HH reales ejecutadas y HH esperadas ejecutar en el año 2021.

Sección A.6

Personal ASMAR Valparaíso 2020 y 2021

El personal de ASMAR-V se divide en tres categorías: contrato indefinido, personal Armada y contrato plazo fijo o por obra. Distribuida entre ingenieros, técnicos, administrativos y personal calificado. En la Figura A.5 se detallan la cantidad de trabajadores para los años 2020 y 2021 de acuerdo con la información del sitio web de ASMAR [1].

Calidad juridica	Cantidad de trabajadores año 2020					
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Contrato indefinido	227	227	230	229	229	229
Personal Armada	82	86	85	86	86	86
Contrato Plazo fijo o por obra	36	48	32	22	21	16
Total	345	361	347	337	336	331
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Contrato indefinido	230	232	233	234	232	232
Personal Armada	86	86	86	85	85	84
Contrato Plazo fijo o por obra	12	22	27	43	41	39
Total	328	340	346	362	358	355
Calidad juridica	Cantidad de trabajadores año 2021					
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Contrato indefinido	148	229	228	232	232	235
Personal Armada	77	76	76	77	77	77
Contrato Plazo fijo o por obra	41	30	26	24	25	22
Total	266	335	330	333	334	334
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Contrato indefinido	236	233	232	235	240	235
Personal Armada	77	77	77	77	78	77
Contrato Plazo fijo o por obra	36	39	37	36	32	29
Total	349	349	346	348	350	341

Figura A.5: Personal ASMAR Valparaiso años 2020-2021.

Sección A.7

Diagrama Unilineal plan Asmar Valparaíso

En la Figura A.6 se presenta el diagrama unilineal correspondiente a la planta ASMAR-V actualizado al año 2021 y facilitado por el departamento de Ingeniería.

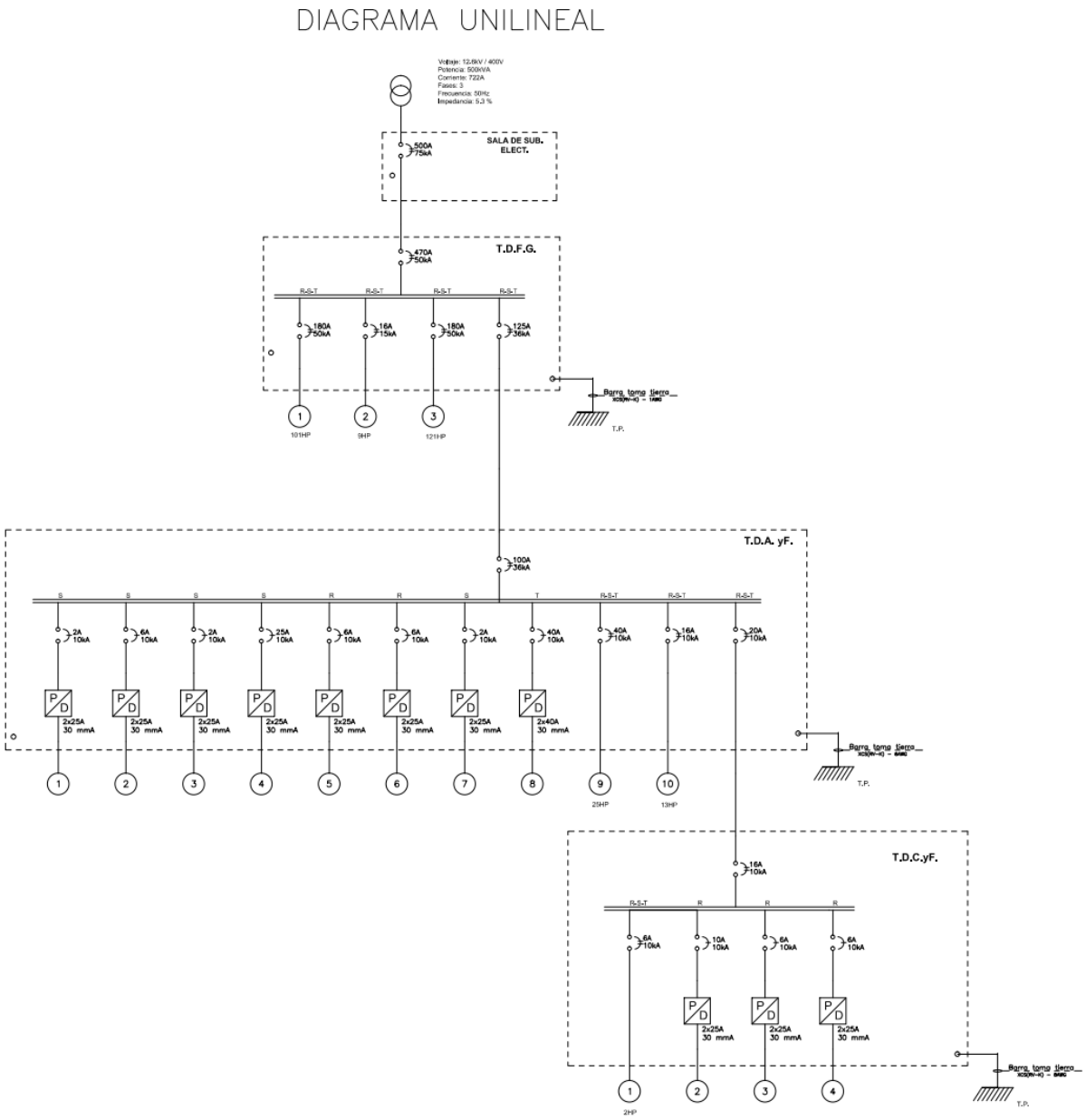


Figura A.6: Diagrama unilineal planta ASMAR Valparaíso 2021.

Sección A.8

Consumo energético por talleres

En esta Sección se presentan los gráficos correspondiente a los consumos energéticos totales por talleres incluyendo las tres fuentes de energía (gráfico de barras azul) y porcentajes absolutos (gráfica roja) por usos energéticos, de acuerdo con la revisión energética realizada.

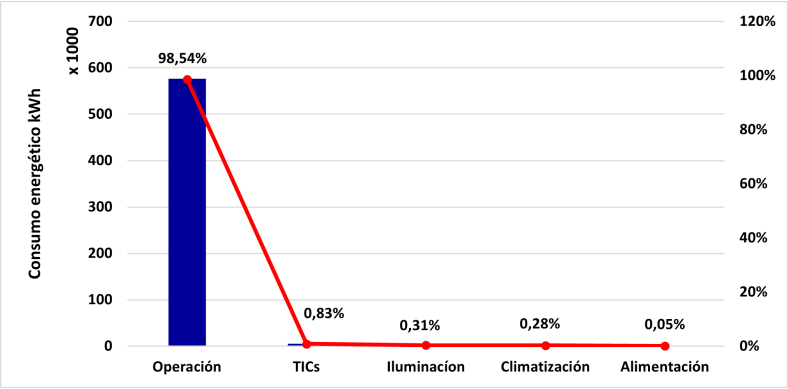


Figura A.7: Consumo energético para taller de mantención por uso energético.

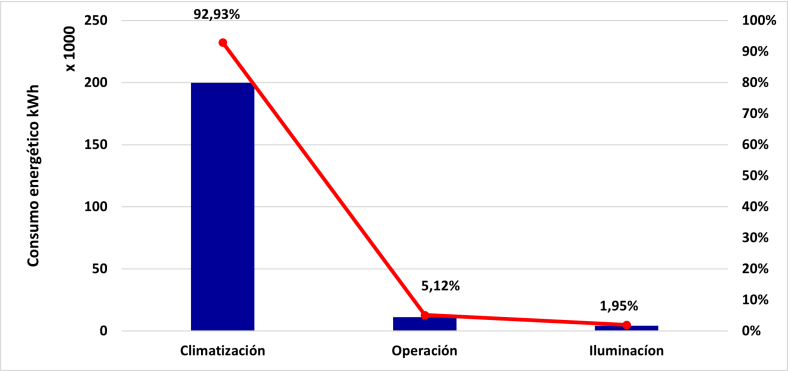


Figura A.8: Consumo energético para área de habitabilidad por uso energético.

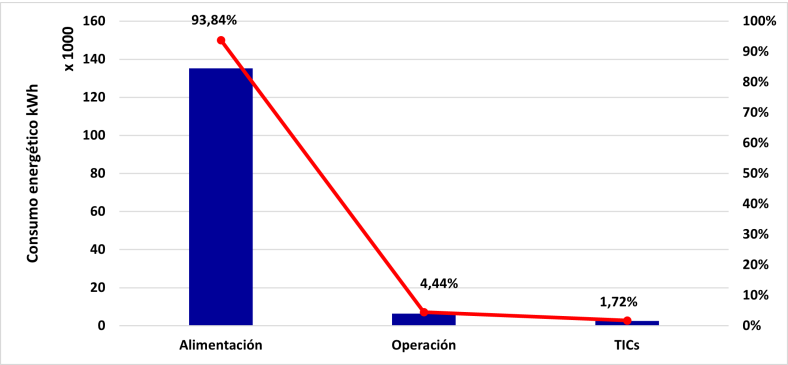


Figura A.9: Consumo energético para área de cocinas y comedores por uso energético.

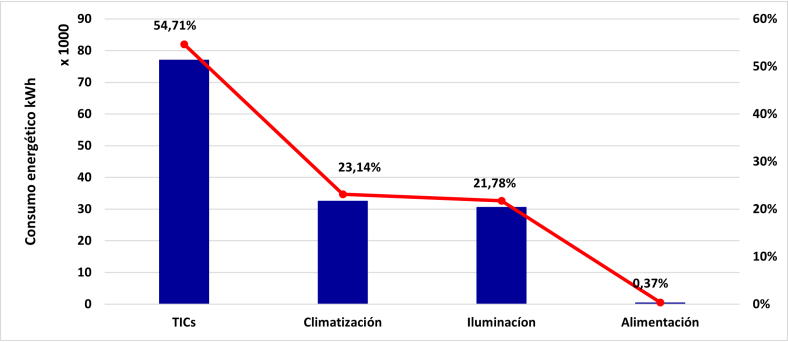


Figura A.10: Consumo energético para edificio administrativo por uso energético.

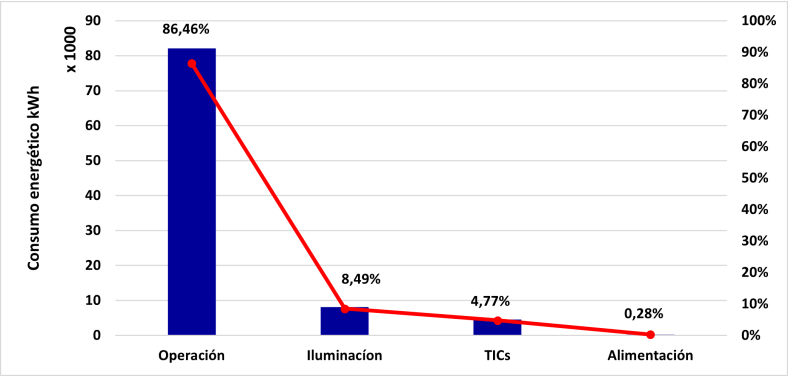


Figura A.11: Consumo energético para taller de mecánica por uso energético.

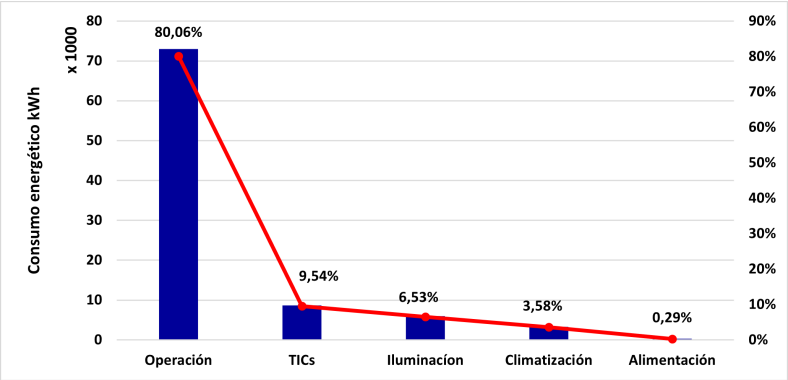


Figura A.12: Consumo energético para taller de estructuras metálicas por uso energético.

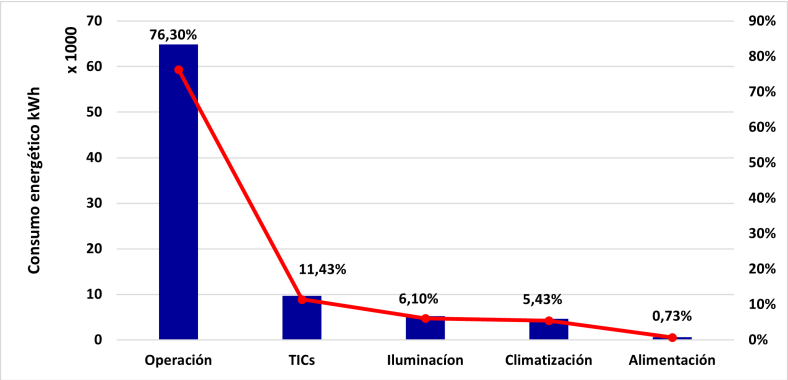


Figura A.13: Consumo energético para taller de electricidad y electrónica por uso energético.

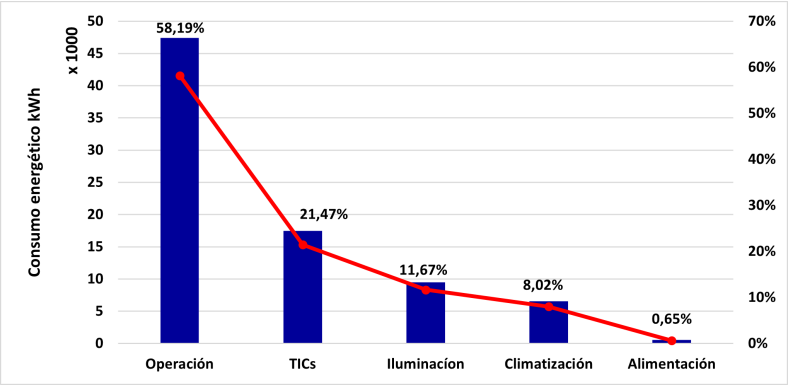


Figura A.14: Consumo energético para taller de combustión interna y movilización por uso energético.

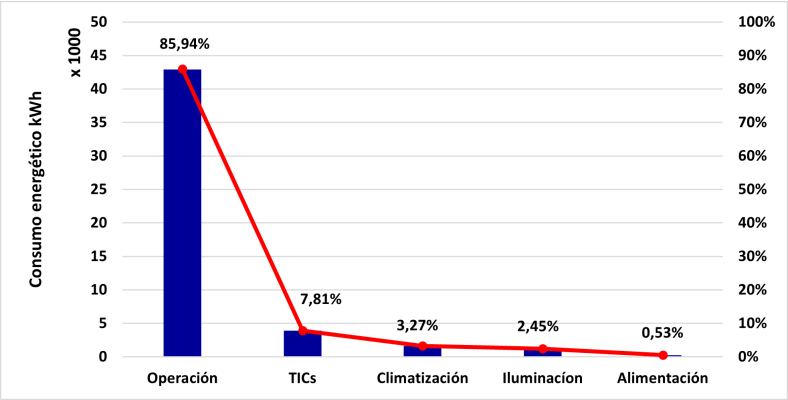


Figura A.15: Consumo energético para taller de cañerías y soldaduras por uso energético.

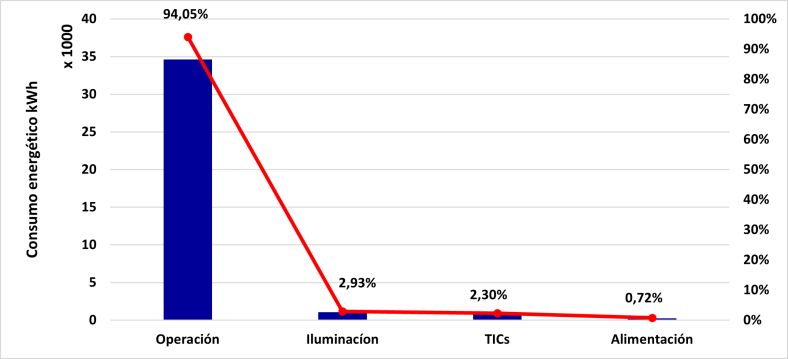


Figura A.16: Consumo energético para taller de carpintería por uso energético.

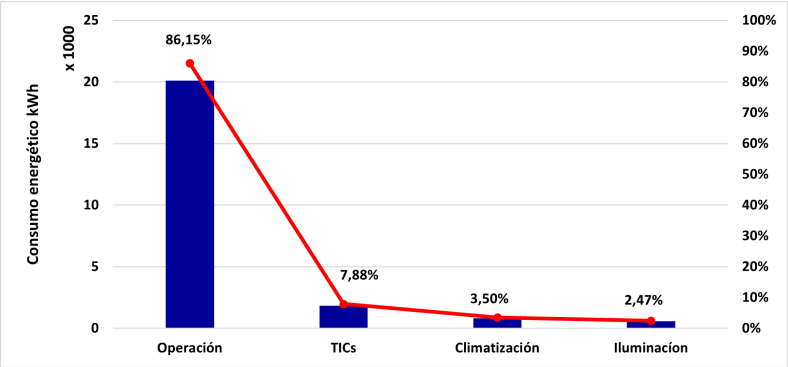


Figura A.17: Consumo energético para taller de botes PUMAR por uso energético.

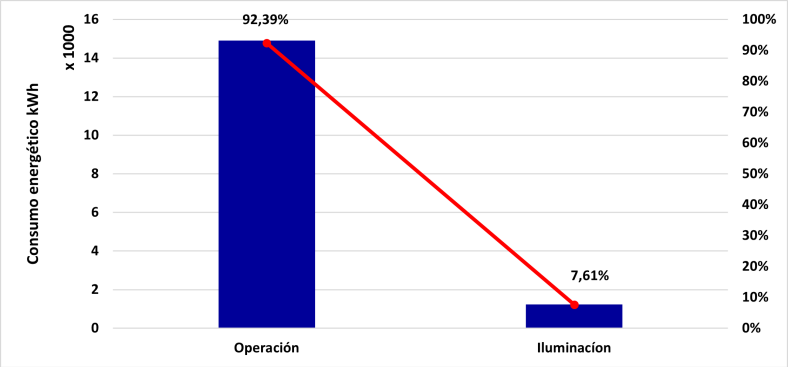


Figura A.18: Consumo energético para taller de pinturas y granillado por uso energético.

Sección A.9

Tablas de indicadores de desempeño energético

Se adjunta un resumen de los datos obtenidos a partir de la revisión energética y posterior análisis de resultados. En Tabla A.1 y Tabla A.2 se resumen los datos utilizados para calcular los indicadores de índice de consumo e indicador base 100.

			y = 1.9795x + 20645		IC = m + E/P	
Mes	HH	E-real	E-LBE	IDE base 100	IC LBE	IC Real
ene	28.134	70.500	76.336,25	108,28	2,71	2,51
feb	27.384	66.600	74.851,63	112,39	2,73	2,43
mar	30.679	91.500	81.374,08	88,93	2,65	2,98
abr	30.949	74.100	81.908,55	110,54	2,65	2,39
may	26.015	83.100	72.141,69	86,81	2,77	3,19
jun	14.222	62.400	48.797,45	78,20	3,43	4,39
jul	15.046	39.900	50.428,56	126,39	3,35	2,65
ago	34.555	85.500	89.046,62	104,15	2,58	2,47
sep	36.525	105.300	92.946,24	88,27	2,54	2,88
oct	34.193	86.700	88.330,04	101,88	2,58	2,54
nov	43.714	86.107	107.176,86	124,47	2,45	1,97
dic	33.798	78.000	87.548,14	112,24	2,59	2,31
ene	27.487	68.817	75.055,52	109,07	2,73	2,50
feb	28.912	66.713	77.876,30	116,73	2,69	2,31
mar	31.959	83.759	83.907,84	100,18	2,63	2,62
abr	28.349	81.295	76.761,85	94,42	2,71	2,87
may	26.800	76.522	73.695,60	96,31	2,75	2,86
jun	28.851	78.363	77.755,55	99,22	2,70	2,72
jul	33.512	93.178	86.982,00	93,35	2,60	2,78
ago	36.513	108.175	92.922,48	85,90	2,54	2,96
sep	32.198	86.107	84.380,94	98,00	2,62	2,67
oct	30.094	81.428	80.216,07	98,51	2,67	2,71
nov	37.522	83.200	94.919,80	114,09	2,53	2,22
dic	29.869	76.800	79.770,69	103,87	2,67	2,57
max	43.714			Promedio	2,70	2,69
min	14.222					
Dif	29.492					

Tabla A.1: Tabla resumen de datos correspondiente a índice de consumo e indicador base 100.

			y = 1.9795x + 20645		IC = m + E/P			
Mes	HH	E-real	E-LBE	IDE base 100	IC LBE	IC Real	dIC/dP	acumulada
jun	14.222	62.400	48.797,45	78,20	3,43	4,39	-1,02E-04	-1,02E-04
jul	15.046	39.900	50.428,56	126,39	3,35	2,65	-9,12E-05	-1,93E-04
may	26.015	83.100	72.141,69	86,81	2,77	3,19	-3,05E-05	-2,24E-04
may	26.800	76.522	73.695,60	96,31	2,75	2,86	-2,87E-05	-2,53E-04
feb	27.384	66.600	74.851,63	112,39	2,73	2,43	-2,75E-05	-2,80E-04
ene	27.487	68.817	75.055,52	109,07	2,73	2,50	-2,73E-05	-3,07E-04
ene	28.134	70.500	76.336,25	108,28	2,71	2,51	-2,61E-05	-3,33E-04
abr	28.349	81.295	76.761,85	94,42	2,71	2,87	-2,57E-05	-3,59E-04
jun	28.851	78.363	77.755,55	99,22	2,70	2,72	-2,48E-05	-3,84E-04
feb	28.912	66.713	77.876,30	116,73	2,69	2,31	-2,47E-05	-4,09E-04
dic	29.869	76.800	79.770,69	103,87	2,67	2,57	-2,31E-05	-4,32E-04
oct	30.094	81.428	80.216,07	98,51	2,67	2,71	-2,28E-05	-4,55E-04
mar	30.679	91.500	81.374,08	88,93	2,65	2,98	-2,19E-05	-4,77E-04
abr	30.949	74.100	81.908,55	110,54	2,65	2,39	-2,16E-05	-4,98E-04
mar	31.959	83.759	83.907,84	100,18	2,63	2,62	-2,02E-05	-5,18E-04
sep	32.198	86.107	84.380,94	98,00	2,62	2,67	-1,99E-05	-5,38E-04
jul	33.512	93.178	86.982,00	93,35	2,60	2,78	-1,84E-05	-5,57E-04
dic	33.798	78.000	87.548,14	112,24	2,59	2,31	-1,81E-05	-5,75E-04
oct	34.193	86.700	88.330,04	101,88	2,58	2,54	-1,77E-05	-5,92E-04
ago	34.555	85.500	89.046,62	104,15	2,58	2,47	-1,73E-05	-6,10E-04
ago	36.513	108.175	92.922,48	85,90	2,54	2,96	-1,55E-05	-6,25E-04
sep	36.525	105.300	92.946,24	88,27	2,54	2,88	-1,55E-05	-6,41E-04
nov	37.522	83.200	94.919,80	114,09	2,53	2,22	-1,47E-05	-6,55E-04
nov	43.714	86.107	107.176,86	124,47	2,45	1,97	-1,08E-05	-6,66E-04
max	43.714			Promedio	2,70	2,69		
min	14.222							
Dif	29.492							
Promedio	30.303	79.753						

Tabla A.2: Tabla cálculo cambio de pendiente para el índice de consumo.

En la Tabla A.3 se adjuntan los datos obtenidos para el cálculo de indicador de tendencias de desempeño energético CUSUM. La Tabla A.4 adjunta los datos necesarios para calcular el indicador de consumo energético por trabajador (CEMT).

Mes	HH	E-real	E-LBE	Er-Et	CUSUM
ene	28.134	70.500	76.336,25	-5.836	-5.836
feb	27.384	66.600	74.851,63	-8.252	-14.088
mar	30.679	91.500	81.374,08	10.126	-3.962
abr	30.949	74.100	81.908,55	-7.809	-11.771
may	26.015	83.100	72.141,69	10.958	-812
jun	14.222	62.400	48.797,45	13.603	12.790
jul	15.046	39.900	50.428,56	-10.529	2.262
ago	34.555	85.500	89.046,62	-3.547	-1.285
sep	36.525	105.300	92.946,24	12.354	11.069
oct	34.193	86.700	88.330,04	-1.630	9.439
nov	43.714	86.107	107.176,86	-21.070	-11.631
dic	33.798	78.000	87.548,14	-9.548	-21.179
ene	27.487	68.817	75.055,52	-6.239	-27.418
feb	28.912	66.713	77.876,30	-11.163	-38.581
mar	31.959	83.759	83.907,84	-149	-38.730
abr	28.349	81.295	76.761,85	4.533	-34.197
may	26.800	76.522	73.695,60	2.826	-31.370
jun	28.851	78.363	77.755,55	607	-30.763
jul	33.512	93.178	86.982,00	6.196	-24.567
ago	36.513	108.175	92.922,48	15.253	-9.314
sep	32.198	86.107	84.380,94	1.726	-7.588
oct	30.094	81.428	80.216,07	1.212	-6.376
nov	37.522	83.200	94.919,80	-11.720	-18.096
dic	29.869	76.800	79.770,69	-2.971	-21.067

Tabla A.3: Tabla cálculo de indicador de tendencia de desempeño energético CUSUM.

Mes	HH	E-real	Trabajadores	kWh/trabajador
ene	28.134	70.500	345	204,35
feb	27.384	66.600	361	184,49
mar	30.679	91.500	347	263,69
abr	30.949	74.100	337	219,88
may	26.015	83.100	336	247,32
jun	14.222	62.400	331	188,52
jul	15.046	39.900	328	121,65
ago	34.555	85.500	340	251,47
sep	36.525	105.300	346	304,34
oct	34.193	86.700	362	239,50
nov	43.714	86.107	358	240,52
dic	33.798	78.000	355	219,72
ene	27.487	68.817	266	258,71
feb	28.912	66.713	335	199,14
mar	31.959	83.759	330	253,82
abr	28.349	81.295	333	244,13
may	26.800	76.522	334	229,11
jun	28.851	78.363	334	234,62
jul	33.512	93.178	349	266,99
ago	36.513	108.175	349	309,96
sep	32.198	86.107	346	248,86
oct	30.094	81.428	348	233,99
nov	37.522	83.200	350	237,71
dic	29.869	76.800	341	225,22
Promedio	**30303,33**	**79752,67**	**340,04**	**234,49**

Tabla A.4: Tabla cálculo de indicador de consumo energético por trabajador.

Sección A.10

Indicadores de desempeño energético mensual electricidad

En esta Sección se presentan los indicadores de desempeño energético mensual reales con sus respectivas metas para la fuente de energía de electricidad correspondiente al año 2021.

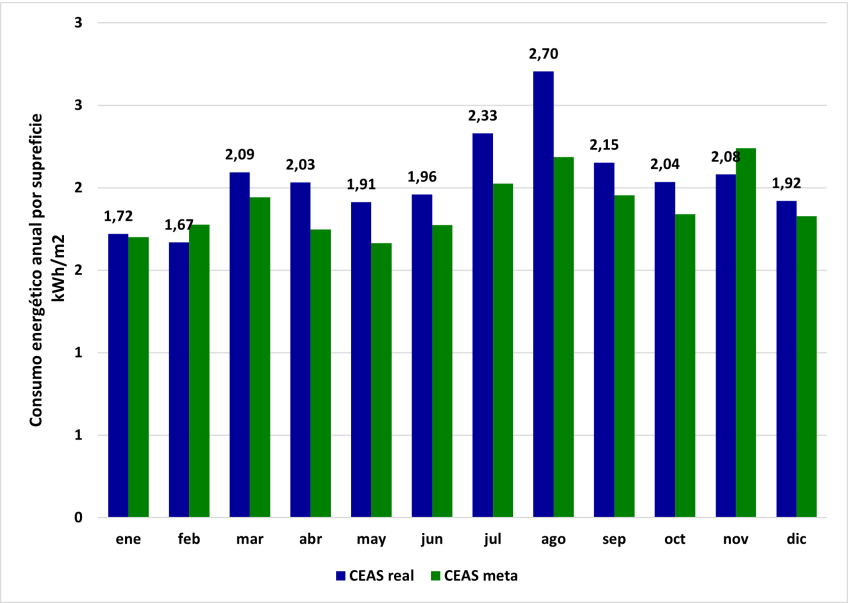


Figura A.19: Indicador de desempeño energético de consumo eléctrico por superficie año 2021.

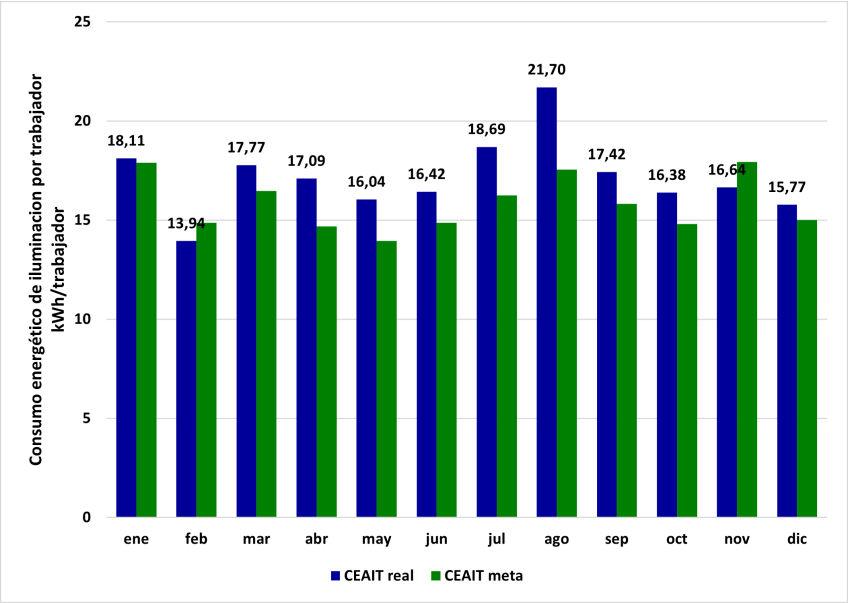


Figura A.20: Indicador de desempeño energético de iluminación por trabajador año 2021.

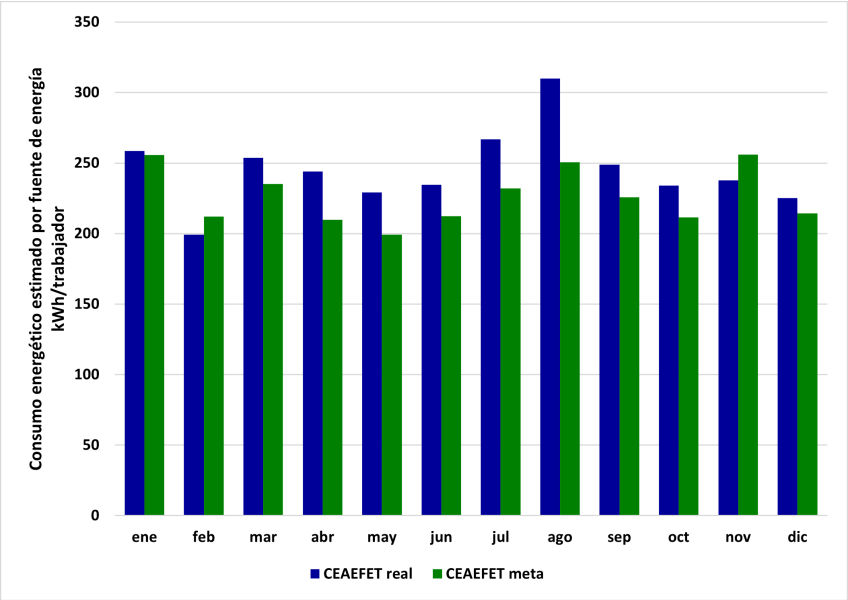


Figura A.21: Indicador de desempeño energético de consumo eléctrico por trabajador año 2021.

Anexo B

Norma ISO 50001

En esta Sección se presenta la normativa ISO 50001 sistemas de gestión de la energía - requisitos con orientación para su uso.

Este extracto solo contiene los requisitos establecidos en la norma, es decir, se transcribe desde el capítulo 4 hasta el capítulo 10 de la norma ISO 50001.

Sección B.1

Contexto de la organización

B.1.1. Comprensión de la organización y su contexto

La organización debe determinar las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito, y que afecta su capacidad de lograr los resultados previstos de su SGE y mejorar su desempeño energético.

B.1.2. Comprensión de las necesidades y las expectativas de las partes interesadas

La organización debe determinar:

a) Las partes interesadas que son pertinentes para el desempeño energético y el SGE;

b) Los requisitos pertinentes de esas partes interesadas;

c) Cuales de las necesidades y expectativas identificadas aborda la organización mediante su SGE.

La organización debe:

- Asegurar que tiene acceso a los requisitos legales y aplicables y a otros requisitos relacionados con su eficiencia energética, uso de la energía y consumo de energía;
- Determinar cómo estos requisitos se aplican a su eficiencia energética, a su uso de la energía y a su consumo de energía;
- Asegurar que estos requisitos son tomados en cuenta;
- Revisar a intervalos definidos sus requisitos legales y otros requisitos.

B.1.3. Determinación del alcance del SGE

La organización debe determinar los limites y la aplicabilidad del SGE para establecer su alcance. Al determinar el alcance del SGE, la organización debe considerar:

a) Las cuestiones externas e internas a las que se hace referencia en el capítulo B.1;

b) Los requisitos a los que se hace referencia en el capítulo B.1.2

La organización debe asegurar que tiene la autoridad de controlar su eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía dentro del alcance y los limites. La organización no debe excluir ningún tipo de energía que este dentro del alcance y de los limites.

B.1.4. Sistema de Gestión de la Energía

La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un SGE, incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones, y mejorar continuamente el desempeño energético, de acuerdo con los requisitos de este documento. Los procesos necesarios pueden variar de una organización a otra debido a el tamaño de la organización y el tipo de sus actividades, procesos, productos y servicios, como también a la complejidad de los procesos y sus interacciones y la competencia del personal.

Sección B.2

Liderazgo

B.2.1. Liderazgo y compromiso

La Alta Dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto a la mejora continua de su desempeño energético y la eficacia de su SGE:

a) Asegurando que se han establecido los alcances y los limites del SGE;

b) Asegurando que se han establecido las políticas energéticas, los objetivos, las metas energéticas, y que son compatibles con la dirección estratégica de la organización;

c) Asegurando la integración de los requisitos del SGE en los procesos del negocio de la organización;

d) Asegurando que los planes de acción están aprobados e implementados;

e) Asegurando que están disponibles los recursos necesarios para el SGE;

f) Comunicando la importancia de la Gestión de la energía eficaz y en conformidad con los requisitos del SGE;

g) Asegurando que el SGE logra los resultados previstos;

h) Promoviendo la mejora continua del desempeño energético y del SGE;

i) Asegurando la conformación de un equipo de gestión de la energía;

j) Dirigiendo y apoyando a las personas para que contribuyan a la eficacia del SGE y a la mejora del desempeño energético;

k) Apoyando a otros roles pertinentes para la gestión a demostrar su liderazgo, según se aplique a sus áreas de responsabilidad;

l) Asegurando que los IDE representan apropiadamente el desempeño energético;

m) Asegurando que los procesos se establecen e implementan para identificar y abordar los cambios que afectan al SGE y al desempeño energético dentro del alcance y los limites del SGE.

B.2.2. Política energética

La Alta Dirección debe establecer una política energética que:

a) Sea apropiada a los propósitos de la organización;

b) Proporcione el marco para establecer y revisar los objetivos y las metas energéticas;

c) Incluya el compromiso de asegurar la disponibilidad de la información y de los recursos necesarios para lograr los objetivos y las metas energéticas;

d) Incluya el compromiso de satisfacer los requisitos legales aplicables y otros requisitos relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía;

e) Incluya el compromiso de la mejora continua del desempeño energético y del SGE;

f) Apoye la adquisición de productos y servicios de eficiencia energética que impactan en el desempeño energético;

g) Apoye las actividades de diseño que consideren la mejora del desempeño energético.

La política energética debe: estar disponible como información documentada; ser comunicada dentro de la organización; estar disponible para las partes interesadas, cuando sea apropiado; ser periódicamente revisada y actualizada cuando sea necesario.

B.2.3. Roles, responsabilidades y autoridades en la organización

La Alta Dirección debe asegurar que las responsabilidades y las autoridades para los roles pertinentes son asignados y comunicados dentro de la organización. Además, debe asignar la responsabilidad y la autoridad al equipo de gestión de la energía para:

a) Asegurar que el SGE se establezca, implemente, mantenga y mejoren continuamente;

b) Asegurar que el SGE cumpla con los requisitos de este documento;

c) Implementar planes de acción para la mejora continua del desempeño energético;

d) Informar sobre el desempeño del SGE y la mejora del desempeño energético a la Alta Dirección a intervalos determinados;

e) Establecer los criterios y métodos necesarios para asegurar que la operación y el control del SGE sean eficaz.

Sección B.3

Planificación

B.3.1. Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades

Al planificar para el SGE, la organización debe considerar las cuestiones a las que se hacen referencia en el capítulo B.1.1, los requisitos mencionados en el capítulo B.1.2, revisar las actividades de la organización y los procesos que puedan afectar el desempeño energético. La planificación debe ser consistente con la política energética, y debe conducir a las acciones que dan como resultado la mejora continua en el desempeño energético. La organización debe determinar los riesgos y las oportunidades que es necesario abordar con el fin de garantizar que el SGE pueda alcanzar

los resultados previstos, incluyendo la mejora del desempeño energético; prevenir o reducir los efectos no deseados; lograr la mejora continua del SGE y del desempeño energético.

La organización debe planificar:

a) Las acciones para abordar estos riesgos y oportunidades;

b) La manera de:

   1) Integrar e implementar las acciones en su SGE y en sus procesos de desempeño energético;

   2) Evaluar la eficacia de estas acciones.

B.3.2. Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos

La organización debe establecer objetivos en las funciones y los niveles pertinentes. La organización debe establecer metas energéticas.

Los objetivos y las metas energéticas deben:

a) Ser consistentes con la política energética;

b) Ser medibles (si es factible);

c) Tomar en cuenta los requisitos aplicables;

d) Considerar los USE;

e) Tomar en cuenta las oportunidades para mejorar el desempeño energético;

f) Ser objeto de seguimiento;

g) Ser comunicados;

h) Ser actualizados según sea apropiado.

La organización debe conservar la información documentada sobre los objetivos y las metas energéticas.
Al planificar cómo alcanzar sus objetivos y sus metas energéticas, la organización debe establecer y mantener planes de acciones que incluyan: qué se hará; qué recursos serán necesarios; quién será responsable; cuándo se completará; como se evaluarán los resultados, incluyendo los métodos utilizados para verificar las mejoras del desempeño energético.

B.3.3. Revisión energética

La organización debe desarrollar y llevar a cabo una revisión energética.

Para desarrollar la revisión energética, la organización debe:

a) Analizar el uso y el consumo de energía con base en la medición y otros datos, es decir:

   1) Identificar los tipos de energía actuales;

   2) Evaluar el uso y el consumo de energía en el pasado y en la actualidad;

b) Con base en el análisis, identificar los USE;

c) Para cada USE:

1) Determinar las variables relevantes;
2) Determinar el desempeño energético actual;
3) Identificar las personas que trabajan bajo su control que influyen o afectan a los USE;

d) Determinar y priorizar las oportunidades para mejorar el desempeño energético;

e) Estimar los usos y consumos de energía en el futuro.

La revisión energética se debe actualizar a intervalos de tiempo definidos, y también como respuesta a los cambios importantes en la instalación, el equipo, los sistemas o los procesos que utilizan energía.

La organización debe mantener los métodos y criterios utilizados para desarrollar la revisión energética como información documentada, y debe conservar la información documentada de sus resultados.

B.3.4. Indicadores de desempeño energético

La organización debe determinar IDE que:

a) Sean apropiados para la medición y el seguimiento de su desempeño energético, y;

b) Le permitan a la organización demostrar la mejora del desempeño energético.

El método para determinar y actualizar los IDE se debe mantener como información documentada. Cuando la organización tenga datos que indiquen que las variables relevantes afectan en forma significativa el desempeño energético, la organización debe considerar dichos datos para establecer los IDE apropiados.

Los valores de los IDE se deben revisar y comparar con sus respectivas LBE, según sea apropiado. La organización debe conservar la información documentada de los valores de los IDE.

B.3.5. Línea de base energética

La organización debe establecer una o varias LBE utilizando la información de la revisión energética, tomando en cuenta un período adecuado de tiempo.

Cuando la organización tenga datos que indiquen que las variables relevantes afectan en forma significativa el desempeño energético, la organización debe realizar la normalización de los valores de los IDE y las correspondientes LBE.

Las LBE se deben revisar en caso de uno o más de los siguientes:

a) Los IDE ya no reflejan el desempeño energético de la organización;

b) Hayan existido cambios importantes en los factores estáticos;

c) De acuerdo con un método predeterminado.

La organización debe conservar la información de las LBE, los datos de las variables relevantes y las modificaciones a las LBE como información documentada.

B.3.6. Planificación para la recopilación de datos de la energía

La organización debe asegurar que las características principales de sus operaciones, que afectan el desempeño energético sean identificadas, medidas, ser objeto de seguimiento, y analizadas a intervalos planificados. La organización debe definir e implementar un plan de recopilación de datos de la energía apropiado a sus dimensiones, complejidad, recursos, y a sus equipos de seguimiento y medición. El plan debe especificar los datos necesarios para el seguimiento de las características principales, y establecer cómo y con qué frecuencia se deben recopilar y conservar los datos.

Los datos a recopilar (u obtener por mediciones, según aplique) y la información documentada a conservar deben incluir:

a) Las variables relevantes para los USE;

b) El consumo de energía relacionado con los USE y con la organización;

c) Los criterios operacionales relacionados con los USE;

d) Los factores estáticos, si aplicara;

e) Los datos especificados en el plan de acción.

La recopilación de datos de la energía se debe revisar y actualizar a intervalos definidos, si es aplicable.

La organización debe asegurar que el equipo utilizado para la medición de las características más importantes proporcione datos que sean precisos y repetibles. La organización debe conservar la información documentada sobre las mediciones, seguimientos y otros medios para establecer la precisión y la repetición.

Sección B.4

Apoyo

Recursos

La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente el desempeño energético y el SGE.

B.4.1. Competencia

La organización debe:

a) Determinar la competencia necesaria de las personas que trabajen bajo su control, que afecten su desempeño energético y el SGE;

b) Asegurar que dichas personas son competentes sobre la base de la formación apropiada, la capacitación, las habilidades o la experiencia;

c) Cuando sea aplicable tomar acción para adquirir la competencia necesaria y evaluar la eficacia de las acciones adoptadas;

d) Conservar la información documentada apropiada como evidencia de la competencia.

B.4.2. Toma de conciencia

Las personas que estén trabajando bajo el control de la organización deben tomar consciencia de:

a) La política energética; capítulo B.2.2

b) Su contribución a al eficacia del SGE, incluyendo el logro de los objetivos y las metas energéticas, y los beneficios de mejorar el desempeño energético;

c) El impacto de sus actividades o de su comportamiento con respecto al desempeño energético;

d) Las implicaciones de no cumplir con los requisitos del SGE.

B.4.3. Comunicación

La organización debe determinar las comunicaciones internas y externas que son pertinentes para el SGE, incluyendo:

a) Qué comunicar;

b) Cuándo comunicar;

c) A quién comuniar;

d) Cómo comunicar;

e) Quién comunica.

Al establecer sus procesos de comunicación, la organización debe asegurar que la información comunicada sea consistente con la información generada en el SGE y que sea confiable.

La organización debe establecer e implementar un proceso mediante el cual cualquier persona que trabaje bajo el control de la organización pueda realizar comentarios o sugerencias para mejorar el SGE o el desempeño energético. La organización debe considerar conservar la información documentada de las mejores sugeridas.

B.4.4. Información documentada

B.4.4.1. Generalidades

El SGE de la organización debe incluir:

a) La información documentada requerida por este documento;

b) La información documentada que la organización determine como necesaria para la eficacia del SGE y que demuestre la mejora del desempeño energético.

B.4.4.2. Crear y actualizar

Al crear y actualizar la información documentada, la organización debe asegurar que los siguientes aspectos sean apropiados:

a) La identificación y la descripción (por ejemplo, el titulo, la fecha, el autor o el número de referencias)

b) Él formato (por ejemplo, el lenguaje, la versión de software, los gráficos) y los medios (por ejemplo, papel, electrónico);

c) La revisión y la aprobación para que sea idóneos y adecuados.

B.4.4.3. Control de la información documentada

La información documentada requerida por el SGE y por este documento se debe controlar para asegurar que:

a) Está disponible y es adecuada para su utilización, cuándo y dónde sea necesaria;

b) Está adecuadamente protegida (por ejemplo, de la pérdida de confidencialidad, del uso inapropiado, de la pérdida de integridad).

Para el control de la información documentada, la organización debe abordar las siguientes actividades, según sea aplicable:

- La distribución, acceso, recuperación y utilización;
- El almacenamiento y la preservación, incluyendo la preservación de la legibilidad;
- El control de los cambios (por ejemplo, el control de la versión);
- La conversación y la disposición.

La información documentada de origen externo que la organización determine como necesaria para la planificación y operación del SGE, se debe identificar, según sea apropiado, y controlar.

Sección B.5

Operación

B.5.1. Planificación y control operacional

La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos relacionados con sus USE (véase capítulo B.3.3), necesarios para cumplir con sus requisitos e implementar las acciones determinadas en el capítulo B.3.2 mediante:

a) El establecimiento de criterios para los procesos, incluyendo la operación y el mantenimiento eficaz de las instalaciones, el equipo, los sistemas, y los procesos que utilizan energía, en los cuales su ausencia puede conducir a un desvió significativo del desempeño energético previsto;

b) La comunicación de los criterios a las personas pertinentes que trabajan bajo el control de la organización;

c) La implementación del control de los procesos de acuerdo con los criterios, incluyendo la operación y el mantenimiento de las instalaciones, el equipo, los sistemas y procesos que utilizan energía, de acuerdo con los criterios establecidos;

d) El mantenimiento de la información documentada en la medida necesaria para tener al confianza de que los procesos se han llevado a cabo según lo planificado.

La organización debe controlar los cambios planificados y revisar las consecuencias de los cambios no previstos, tomando acción para mitigar cualquier efecto adverso, según sea necesario.

La organización debe asegurar que los USE contratados externamente o que los procesos relacionados con sus USE están controlados.

B.5.2. Diseño

La organización debe considerar las oportunidades de mejora del desempeño energético y el control operacional en el diseño de instalaciones, equipo, sistemas y procesos que utilizan energía, que sean nuevos, modificados y renovados, que puedan tener impacto significativo en su desempeño energético durante el tiempo de vida planificado o esperado.

Donde sea aplicable, los resultados de la consideración del desempeño energético se deben incorporar a las actividades de especificación, diseño y adquisición.
La organización debe conservar la información documentada de las actividades de diseño relacionadas con el desempeño energético.

B.5.3. Adquisición

La organización debe establecer e implementar los criterios para la evaluación del desempeño energético durante el tiempo de vida operativo planificado o esperado al adquirir productos, equipos y servicios que utilizan energía, y que se espera que tengan impacto significado en el desempeño energético de la organización.

Al adquirir productos, equipos y servicio que utilizan energía, que tienen, o pueden tener, impacto en los USE, la organización debe informar a los proveedores que el desempeño energético es uno de los criterios de evaluación para la adquisición.

Cuando sea aplicable, la organización debe definir y comunicar las especificaciones para:

a) Asegurar el desempeño energético del equipo y de los servicios adquiridos;

b) La adquisición de energía.

Sección B.6

Evaluación del desempeño

B.6.1. Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGE

B.6.1.1. Generalidades

La organización debe determinar para el desempeño energético y el SGE:

a) Qué necesita tener seguimiento y ser medido, incluyendo, como mínimo, las siguientes características clave:

   1) La eficacia de los planes de acción para alcanzar los objetivos y las metas energéticas;

   2) Los IDE;

3) La operación de los USE;

4) El consumo de energía real versus el consumo esperado;

b) Los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación, según corresponda, para asegurar resultados validos;

c) Cuándo se deben realizar el seguimiento y la medición;

d) Cuándo se deben analizar y evaluar los resultados del seguimiento y la medición.

La organización debe evaluar su desempeño energético y la eficacia del SGE.

La mejora en el desempeño energético se debe evaluar comparando los valores de los IDE con respecto a las correspondientes LBE.

La organización debe investigar y responder a las desviaciones significativas en el desempeño energético. La organización debe conservar la información documentada sobre los resultados de la investigación y la respuesta.

La organización debe conservar la información documentada sobre el seguimiento y las mediciones.

B.6.1.2. Evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos

La organización debe tener un procedimiento para evaluar, a intervalos planificados, el cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos relacionados con su eficiencia energética, el uso de la energía, el consumo de energía y el SGE. La organización debe conservar la información documentada sobre los resultados de la evaluación del cumplimiento y las acciones tomadas.

B.6.2. Auditoría interna

La organización debe realizar auditorías internas del SGE a intervalos planificados para proporcionar información sobre si el SGE:

a) Mejora el desempeño energético;

b) Cumple con:

- Los requisitos propios de la organización para su SGE;
- La política energética, y los objetivos y metas energéticas establecidos por la organización;
- Los requisitos de este documento;

c) Está eficazmente implementado y mantenido.

B.6.2.1. La organización debe:

a) Planificar, establecer, implementar y mantener un programa de auditorías que incluyan los métodos, responsabilidades, requisitos de planificación e información, que deben considerar la importancia de los procesos en cuestión y los resultados de auditorías previas;

b) Definir el criterio y el alcance para cada auditoría;

c) Seleccionar auditores y realizar auditorías para asegurar la objetividad y la imparcialidad del proceso de auditoría;

d) Asegurar que los resultados de las auditorías se informen a la dirección pertinente;

e) Tomar las acciones apropiadas de acuerdo a los capítulos B.7.1 y B.7.2;

f) Conservar la información documentada como evidencia de la implementación del programa de auditoría, y los resultados de la misma.

B.6.3. Revisión por la dirección

La Alta Dirección debe revisar el SGE de la organización, a intervalos planificados, para asegurar su continua idoneidad, adecuación, eficacia y alineación con la dirección estratégica de la organización.

La revisión por la dirección debe considerar:

a) El estado de las acciones de las revisiones previas por la dirección;

b) Cambios en las cuestiones internas y externas, los riesgos asociados y las oportunidades pertinentes para el SGE;

c) Información sobre el desempeño del SGE, incluyendo las tendencias en:

   1) No conformidades y acciones correctivas;

   2) Resultados del seguimiento y las mediciones;

   3) Resultados de las auditorías;

   4) Resultados de la evaluación del cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos;

d) Oportunidades para la mejora continua, incluyendo las referidas a la competencia;

e) La política energética.

Las entradas relativas al desempeño energético para la revisión por la dirección deben incluir:

- El grado de cumplimiento de los objetivos y las metas energéticas;
- El desempeño energético y las mejoras del desempeño energético, con base en los resultados del seguimiento y las mediciones, incluyendo los IDE;
- El estado de los planes de acción.

Las salidas de la revisión por la dirección deben incluir las decisiones relacionadas con las oportunidades de mejora continua y cualquier necesidad de cambios al SGE, incluyendo:

a) Las oportunidades para mejorar el desempeño energético;

b) La política energética;

c) Los objetivos, las metas energéticas, los planes de acción u otros elementos del SGE, y las acciones a ser tomadas si no se alcanzan;

d) Las oportunidades para mejorar la integración con los procesos del negocio;

e) La asignación de recursos;

f) La mejora de la competencia, de la toma de conciencia y de la comunicación.

La organización debe conservar la información documentada como evidencia de los resultados de las revisiones por la dirección.

Sección B.7

Mejoras

B.7.1. No conformidad y acción correctiva

Cuando se identifica una no conformidad la organización debe:

a) Reaccionar a dicha no conformidad, y según sea aplicable:
   1) Tomar acción para controlarla y corregirla;
   2) Ocuparse de las consecuencias;

b) Evaluar la necesidad de acciones para eliminar las causas de la no conformidad, con el fin de que no vuelva a ocurrir ni ocurra en otra parte, mediante:
   1) La revisión de la no conformidad;
   2) La determinación de las causas de la no conformidad;
   3) La determinación de la existencia de no conformidades similares, o que potencialmente pueden ocurrir;

c) Implementar cualquier acción que sea necesaria;

d) Revisar la eficacia de cualquier acción correctiva tomada;

e) Realizar los cambios al SGE, si fuera necesario.

Las acciones correctivas deben ser apropiadas a los efectos de las no conformidades encontradas.

La organización debe conservar al información documentada de:

- La naturaleza de las no conformidades, y las acciones subsiguientes, si se hubieran tomado;
- Los resultados de cualquier acción correctiva.

B.7.2. Mejora continua

La organización debe mejorar continuamente la idoneidad, adecuación y eficacia del SGE. La organización debe demostrar la mejora continua del desempeño energético.

Anexo C

Análisis de brechas

El análisis de brechas, es un examen de la gestión actual respecto a la energía en la organización y debe ser realizado a la alta Gerencia.

1) Requerimientos generales.
   a) ¿La organización ha definido alguna forma de gestionar la energía? ¿Cuál?
2) Responsabilidades de la Administración.
   a) ¿Existen recursos especializados, humanos, financieros y tecnológicos necesarios para un sistema de gestión de la energía entregado por la Gerencia?¿Hay un encargado de energía?
3) Política energética.
   a) ¿La Gerencia ha definido y escrito una política energética, la cual incluya un compromiso de mejoramiento continuo en eficiencia energética? (si la respuesta es sí, pedir la política por escrito).
   b) ¿Se documenta y se comunica a través de toda la organización?
4) Planificación energética.
   a) Perfil energético/bases/IDE.
      - ¿Se ha recopilado y analizado información pasada y actual sobre el consumo energético y emisiones de CO_2 dentro de los procesos de cada área?
   b) Obligaciones legales y otros requerimientos.
      - ¿Existe un procedimiento que identifique las obligaciones legales y requerimientos relacionados con el uso y consumo de energía en las áreas correspondientes?
   c) Objetivos, metas y planes de acción.
      - ¿La organización ha definido un objetivo relacionado con el consumo de energía, respecto a la eficiencia?
5) Apoyo y operación.
   a) Competencias, capacitación y conciencia.
      - ¿Son identificadas las necesidades en capacitación del personal para actividades que tengan efectos en la eficiencia energética? ¿Hay difusión de la importancia del buen manejo de la energía?
   b) Documentación, requerimientos y control.
      - ¿Existe un sistema de documentación de las acciones de energía? De ser así ¿qué contiene?
   c) Control operacional.
      - ¿Existe alguna evaluación sobre la eficiencia energética en las actividades?
   d) Comunicación.

- ¿La organización comunica la política, metas, acciones y resultados referidos a la eficiencia energética? (si no existe política o metas energéticas, saltar esta pregunta)

e) Diseño.

- ¿Se ha tenido en cuenta el rendimiento energético en el diseño de instalaciones, equipos, sistemas y nuevos procesos que puedan tener un impacto significativo en el rendimiento energético?

f) Adquisiciones.

- ¿Existe alguna norma, procedimiento o instructivo que considera la eficiencia energética cuando se realiza una evaluación de una adquisición (ya sea de una máquina, producto o servicio)?

6) Evaluación del desempeño.

a) Monitoreo, mediciones y análisis.

- ¿Existe monitoreo de la energía en el día a día? ¿cuentan con equipos de medición para energía y temperatura?
- ¿Existe algún tipo de Benchmarking con compañías similares en relación a los niveles de consumo y prácticas energéticas?

b) Evaluación legal/conformidad.

- ¿Existe un procedimiento de evaluación de conformidad con el sistema de gestión de la energía con obligaciones legales y otros requerimientos relacionados con los consumos energéticos significativos?

c) Auditoría interna.

- ¿Existen auditorías internas realizadas en forma periódica las cuáles lleven a cabo un análisis sobre la implementación y efectividad del sistema de gestión de la energía?

d) No Conformidades, acciones correctivas, preventivas y de mejoramiento.

- ¿Existe un procedimiento que defina responsabilidades y autoridad en el orden de gestionar y analizar las no-conformidades?

7) Revisión de la gestión de la energía.

a) ¿La jefatura ha definido una revisión periódica de todos los elementos de un sistema de gestión de la energía?

Anexo D

Protocolo internacional de medida y verificación

Sección D.1

Premisas para la elaboración de una LBE

- El modelo de LBE puede ser un modelo determinístico físico, matemático o un modelo estadístico - matemático. Los modelos determinísticos son muy complejos pero mucho más exactos, en cambio los modelos estadísticos son mucho más fáciles de realizar e interpretar pero requieren datos muy confiables y un conocimiento previo de como se refleja en el modelo los cambios del proceso que representa.
- La variable dependiente del modelo es siempre la energía consumida. En cambio, las variables independientes del modelo son las variables significativas. Por ejemplo la producción, los grados-día, mix de productos, tipo de materia prima, ventas, etc. Pueden ser una o más de una y son la referencia de medición del desempeño.
- Debe probarse que las variables usadas para elaborar el modelo son significativas para el consumo de energía. Para ello se usa el método de validación p-value con p<0,05.

Características del modelo

- El modelo de regresión lineal esta compuesto de dos coeficientes: la pendiente y el intercepto con el origen. Se rige bajo la ecuación D.1.

$$E = m \cdot P + E_0 \tag{D.1}$$

Donde:

E_t : consumo de energía total.
E_0 : consumo fijo del proceso.
P : variable independiente.
m : pendiente de la recta.

- La variación de la pendiente refleja la variabilidad de la variable dependiente (consumo energético) respecto a su valor medio.
- La variación del intercepto refleja dos elementos: la variación de la pendiente y por tanto, la variabilidad de la variable dependiente (consumo energético) respecto a su valor medio.
- Es posible determinar en el modelo la parte que cambió del intercepto por el cambio de la pendiente y la parte que cambió por la magnitud constante de la variable independiente.

- Un aumento de la pendiente del modelo para igual varianza de la producción representa menos pérdidas de energía por la influencia de variables significativas de operación y mantenimiento que impactan el consumo, ya que el consumo depende más de la producción realizada. A pesar de que esto se ve reflejado en el modelo en un incremento de la pendiente (kWh /unidad de producción), también se ve reflejado en el intercepto, que baja (kWh /unidad de tiempo) y en total en el modelo se produce reducción del consumo total (kWh /unidad de tiempo).
- Un aumento del intercepto del modelo puede reflejar: una disminución de la pendiente (lo cual es negativo pues significa menor dependencia del consumo de la producción); Un aumento del consumo de energía con respecto al valor promedio anterior, o ambas cosas. Por tanto un aumento del intercepto es indeseable.
- El coeficiente de determinación del modelo refleja cuanto de los cambios del consumo de energía se deben a cambios de la producción y cuanto a cambios de otras variables operacionales o de mantenimiento. Mientras más alto menos pérdidas por influencia de otros factores. Sin embargo, no refleja si el consumo es alto o bajo, habla solo de su variabilidad.

Sección D.2

Metodología para elaborar una LBE

D.2.1. Definición del período base

Período que cubre la influencia de las variables significativas sobre el consumo de energía.

D.2.2. Definición de la muestra de datos mínima

La estimación inicial del número de datos de la muestra, se realiza de acuerdo a la ecuación D.2.

$$n_0 = \frac{z^2 \cdot cv^2}{e^2} \tag{D.2}$$

Donde:

n_0	:	estimación inicial del tamaño de muestra necesario, antes de comenzar el muestreo.
cv	:	coeficiente de varianza, que se define como la desviación estándar de las lecturas dividida por la media. Se utilizó 0,5 como estimación inicial para cv.
z	:	valor de la distribución normal estándar con un número infinito de lecturas y para el nivel de confianza deseado. z = 1.96 para un nivel de confianza de 95 %.
e	:	nivel deseado de precisión. En este caso es de un 5 %.

D.2.2.1. Ajustar la estimación inicial del tamaño de muestra para grupos de datos pequeños

El tamaño de muestra necesario puede reducirse si el grupo de datos completo del que se va a tomar la muestra no es 20 veces superior al tamaño de muestra. Por lo tanto, este ajuste reduce

el tamaño de muestra (n) según la formula D.3.

$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + N} \tag{D.3}$$

Donde:

n_0	:	estimación inicial del tamaño de muestra necesario.
N	:	tamaño de población que tengo.
n	:	tamaño de muestra reducido.

D.2.3. Definir las variables que van a LBE

Las variables para elaborar la línea base deben cumplir las siguientes condiciones:

1) Son variables significativas (determinadas en la revisión energética).
2) Son variables que no dependen de la operación y del mantenimiento
3) Son variables sobre las cuales no podemos actuar, por tanto, son referenciales para el cálculo del cambio del consumo de energía.

   Ejemplo: producción, mix de producción, programa de producción, temperatura ambiental, condiciones operativas de la maquinaria, etc.

D.2.4. Toma de datos

Para la toma de datos se procede con un criterio de selección de datos:

1) Los datos para elaborar el modelo de línea base son una muestra de datos de una población representativa del comportamiento del proceso a modelar.
2) La población debe corresponder a un período de al menos un año.
3) El número de datos de la población total depende de la frecuencia de la medición de los datos.

D.2.5. Verificación del coeficiencia de varianza *cv*

- Para determinar el número mínimo de datos de la muestra asumimos un coeficiente de varianza de 0,5.
- Para que ese número mínimo se mantenga debemos verificar que los datos reales tomados tienen el valor de *cv* asumido o menor que ese.
- En caso que no sea así se debe ampliar la muestra de datos hasta llegar al *cv* asumido o recalcular el número mínimo de datos con el *cv* real calculado de la muestra tomada.

D.2.6. Verificación de R^2 y filtrado de datos

- R mide el grado de asociación entre la variable dependiente y las variables que componen el modelo.
- R^2 mide la proporción de la variabilidad de la variable dependiente explicada por las variables que componen el modelo.
- Existe R^2 ajustado aquel que no depende del número de variables que componen el modelo.
- No podemos esperar en el modelo un $R^2 = 1$, ya que estamos correlacionando el consumo de energía solo con las variaciones de la producción y sabemos que en la práctica no solo la variabilidad de la producción influye en este consumo, también hay otros factores operativos y de mantenimiento que varían y lo afectan.
- Mientras más alto es el valor R^2 menos energía se gastara para suplir la variación de estos otros factores que al final generan pérdidas.
- El valor de R^2 también depende del número de datos falsos. Para eliminar la posibilidad de datos falsos en la muestra, debe realizarse un primer filtrado de datos al eliminar aquellos que no representan el comportamiento normal. Así por ejemplo, problemas de calibración de instrumentos de medición, mala toma de datos, errores humanos, alteraciones consistentes de datos de producción o consumos.

D.2.6.1. ¿Cómo identificar y eliminar los datos falsos de la muestra?

El error estándar de la estimación mide la cantidad de dispersión de la datos observados alrededor de la línea de regresión. El error estándar de la estimación es relativamente bajo si los puntos de datos están muy cerca de la línea, y viceversa. También se puede calcular por tabla p-value como error típico.

Para realizar el filtrado de datos determinamos el error estándar de la media Se y lo utilizamos para hallar los puntos que más dispersos se encuentran de la recta (ver ecuación D.1). Sacamos los puntos más dispersos de la muestra sin violar el valor mínimo permisible calculado, para mantener el nivel de confianza y de precisión que queremos mantener.

Con los nuevos valores que quedan de la muestra volvemos a calcular el R^2 hasta lograr que este valor sea igual o superior a 0.75 o el mayor valor que pueda alcanzarse por debajo de ese valor, para la cantidad mínimo de datos de la muestra.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n-2}} \tag{D.4}$$

Procedimiento de filtrado de datos

1) Organizar otra tabla en Excel donde se incluya la siguiente información para toda la muestra de datos:

Mes	**Consumo de energía real**	**Producción realizada**	**Consumo de energía teórico de regresión lineal**	$E_t + Z \cdot S_{x,y}$	$E_t - Z \cdot S_{x,y}$
	unidad de energía/-tiempo	unidad de producción/tiempo	$E_t = m \cdot P + E_0$	unidad de energía/-tiempo	unidad de energía/-tiempo

Tabla D.1: Tabla modelo para realizar procedimiento de filtrado de datos.

Donde Z es el valor que da el ancho de la franja de filtrado. Generalmente se comienza por un valor de 4 y puede irse bajando hasta lograr el ancho de filtrado deseado, respetando la mínima cantidad de datos.

2) En la gráfica de correlación consumo energético vs indicador de productividad elaborada con la línea de tendencia, agregue las líneas correspondientes a E_t + Z·S_{xy} y E_t - Z·S_{xy}, que quedarán una por encima y otra por debajo de la línea de tendencia de la muestra de datos (límite superior e inferior).

3) Extraer de la muestra todos los valores que queden fuera del ancho de filtrado establecido por las líneas superior e inferior trazadas.

4) Verificar que los datos extraídos de la muestra no representan más del 30 % de la muestra de datos. En caso contrario aumentar el valor de Z hasta que esto no ocurra.

5) Con los datos que quedaron de la muestra volver a determinar el valor de R^2 y verificar que el mismo se incremento y en cuanto.

6) Cuando el valor de R^2 ha llegado a ser >0.75 o se ha sacado la cantidad máxima de datos de la muestra inicial, termina el filtrado.

En la Tabla D.2 se muestran los resultados del procedimiento de filtrado de datos, obteniéndose para este caso específico el filtrado de un dato, correspondiente al mes de noviembre del año 2020. El cual se encuentra fuera del limite inferior y superior definidos anteriormente por el modelo. Se filtra un solo dato debido a que la mínima cantidad de datos es 23.

MES	HH	kWh	S/N	E*E	E*HH	Et	Et+Z*Sxy	Et-Z*Sxy
ene	28134	70500	S	4970250000	1983447000	76043,04	96693,70314	55392,38
feb	27384	66600	S	4435560000	1823774400	74873,04	95523,70314	54222,38
mar	30679	91500	S	8372250000	2807128500	80013,24	100663,9031	59362,58
abr	30949	74100	S	5490810000	2293320900	80434,44	101085,1031	59783,78
may	26015	83100	S	6905610000	2161846500	72737,40	93388,06314	52086,74
jun	14222	62400	S	3893760000	887452800	54340,32	74990,98314	33689,66
jul	15046	39900	S	1592010000	600335400	55625,76	76276,42314	34975,10
ago	34555	85500	S	7310250000	2954452500	86059,80	106710,4631	65409,14
sep	36525	105300	S	11088090000	3846082500	89133,00	109783,6631	68482,34
oct	34193	86700	S	7516890000	2964533100	85495,08	106145,7431	64844,42
nov	43714	78300	N	6130890000	3422806200	100347,84	120998,5031	79697,18
dic	33798	78000	S	6084000000	2636244000	84878,88	105529,5431	64228,22
ene	27487	68817	S	4735779489	1891572879	75033,72	95684,38314	54383,06
feb	28912	66713	S	4450624369	1928806256	77256,72	97907,38314	56606,06
mar	31959	83759	S	7015570081	2676853881	82010,04	102660,7031	61359,38
abr	28349	81295	S	6608877025	2304631955	76378,44	97029,10314	55727,78
may	26800	76522	S	5855616484	2050789600	73962,00	94612,66314	53311,34
jun	28851	78363	S	6140759769	2260850913	77161,56	97812,22314	56510,90
jul	33512	93178	S	8682139684	3122581136	84432,72	105083,3831	63782,06
ago	36513	108175	S	11701830625	3949793775	89114,28	109764,9431	68463,62
sep	32198	86107	S	7414415449	2772473186	82382,88	103033,5431	61732,22
oct	30094	81428	S	6630519184	2450494232	79100,64	99751,30314	58449,98
nov	37522	83200	S	6922240000	3121830400	90688,32	111338,9831	70037,66
dic	29869	76800	S	5898240000	2293939200	78749,64	99400,30314	58098,98
			1					
	Factor Z =	2,4						

Tabla D.2: Tabla filtrado de datos.

Anexo E

Línea base energética meta

La línea base energética meta consiste en trabajar en base a metas, las cuales pueden ser definidas en tres aspectos: 1) aspiracionales, 2) basadas en planes de acción y en el mejor comportamiento previo y 3) basadas en el mejor comportamiento previo, es decir, la situación de haber operado de mejor forma con la finalidad de obtener ahorros energéticos desde el punto de vista operacional sin cambios tecnológicos.

E.0.1. Metas de ahorro energético

1. Aspiracionales
   - Se ponen de arriba hacia abajo (corporativas);
   - Pueden ser arbitrarias;
   - Pueden no ser alcanzables o ser muy fáciles de alcanzar;
   - Pueden deprimir al personal.
2. Basadas en planes de acción
   - Sobre la base de los cambios planificados;
   - Son revisadas continuamente;
   - No consideran cambios operacionales.
3. Basadas en el mejor comportamiento previo
   - Toman como referencia la línea base;
   - Considera cambios operacionales y cambios tecnológicos planeados;
   - Discutidas de abajo a arriba.

E.0.2. Análisis

Para el análisis se debe comparar el modelo que representa todas las operaciones (O_t) y el modelo que representa las mejores operaciones (M_o), es decir, todos los valores de consumo energético reales por debajo de la LBE del modelo O_t. En la Tabla E.2 en amarillo se encuentran todos los valores reales que se encuentran por debajo de la LBE obtenida en la revisión energética.

Una vez seleccionado los valores, se procede a hacer el mismo análisis que se hizo para calcular la LBE.

Para analizar el comportamiento de todas las operaciones versus las mejores operaciones, se deben definir ciertos parámetros de regresión lineal como se muestra a continuación.

$$Y_{oti} = M_{ot} \cdot X_i + I_{ot}$$
$$Y_{moi} = M_{mo} \cdot X_i + I_{mo}$$

Donde:

M	:	pendiente del modelo.
I	:	intercepto con el eje de la variable dependiente del modelo.
X	:	variable independiente.
Y	:	variable dependiente.
M_o	:	mejores operaciones.
O_t	:	todas las operaciones.
X_i	:	valores puntuales de la variable independiente.
Y_{oti}	:	valores puntuales de la variable dependiente.

También se debe considerar que:

$$I_{ot} = Y_{promOt} - M_{ot} \cdot X_{promOt}$$
$$I_{mo} = Y_{promMo} - M_{mo} \cdot X_{promMo}$$

La diferencia entre ambos modelos que reflejan la diferencia entre los dos comportamientos es:

$$Y_{oti} - Y_{moi} = (M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i + I_{ot} - I_{mo}$$
$$Y_{oti} - Y_{moi} = (M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i + Y_{promOt} - M_{ot} \cdot X_{promOt} - Y_{promMo} + M_{mo} \cdot X_{promMo}$$
$$Y_{oti} - Y_{moi} = \overbrace{(M_{ot} - M_{mo}) \cdot X_i}^{1.} + \underbrace{(Y_{promOt} - Y_{promMo})}_{3.} + \overbrace{(M_{mo} \cdot X_{promMo} - M_{ot} \cdot X_{promOt})}^{2.}$$

Las variaciones del consumo energético del comportamiento de O_t con respecto al comportamiento de M_o para una producción dada X_i de un mes tiene tres componentes:

1. Influencia del cambio de la pendiente por la variabilidad operacional;
2. Influencia de la variable operacional en el cambio del intercepto;
3. Influencia del cambio del valor promedio del consumo energético en el cambio del intercepto.

Observar que:

a) Los componentes 1 y 2 reflejan el impacto del cambio de variabilidad de Y con respecto a X (consumo energético vs productividad) en el modelo. La suma algebraica de ellos indica si el cambio de variabilidad produce aumento o disminución del consumo;

b) Dos de estos componentes (2 y 3) son valores fijos, pues no depende de la productividad o variable X_i.

MES	HH	kWh	Y^2	XY	X-Xprom	Y-Yprom	(Y-Yprom)^2	(X-Xprom)^2	(X-Xprom)*(Y-Yprom)
ene	28,134	70,500	4,970,250,000	1,983,447,000	-1,586.26	-8,976.39	80,575,600.85	2,516,223.55	14,238,898.28
feb	27,384	66,600	4,435,560,000	1,823,774,400	-2,336.26	-12,876.39	165,801,453.02	5,458,114.85	30,082,609.15
mar	30,679	91,500	8,372,250,000	2,807,128,500	958.74	12,023.61	144,567,166.07	919,180.72	11,527,504.15
abr	30,949	74,100	5,490,810,000	2,293,320,900	1,228.74	-5,376.39	28,905,583.46	1,509,799.85	-6,606,182.38
may	26,015	83,100	6,905,610,000	2,161,846,500	-3,705.26	3,623.61	13,130,539.98	13,728,958.11	-13,426,415.51
jun	14,222	62,400	3,893,760,000	887,452,800	-15,498.26	-17,076.39	291,603,139.98	240,196,089.98	264,654,367.15
jul	15,046	39,900	1,592,010,000	600,335,400	-14,674.26	-39,576.39	1,566,290,748.67	215,333,932.07	580,754,290.28
ago	34,555	85,500	7,310,250,000	2,954,452,500	4,834.74	6,023.61	36,283,861.72	23,374,702.46	29,122,576.67
sep	36,525	105,300	11,088,090,000	3,846,082,500	6,804.74	25,823.61	666,858,766.07	46,304,474.63	175,722,920.58
oct	34,193	86,700	7,516,890,000	2,964,533,100	4,472.74	7,223.61	52,180,522.59	20,005,395.33	32,309,317.28
dic	33,798	78,000	6,084,000,000	2,636,244,000	4,077.74	-1,476.39	2,179,731.28	16,627,956.42	-6,020,338.59
ene	27,487	68,817	4,735,779,489	1,891,572,879	-2,233.26	-10,659.39	113,622,622.98	4,987,454.11	23,805,201.49
feb	28,912	66,713	4,450,624,369	1,928,806,256	-808.26	-12,763.39	162,904,157.59	653,285.63	10,316,149.75
mar	31,959	83,759	7,015,570,081	2,676,853,881	2,238.74	4,282.61	18,340,737.24	5,011,952.89	9,587,643.67
abr	28,349	81,295	6,608,877,025	2,304,631,955	-1,371.26	1,818.61	3,307,337.59	1,880,356.37	-2,493,786.94
may	26,800	76,522	5,855,616,484	2,050,789,600	-2,920.26	-2,954.39	8,728,427.98	8,527,923.55	8,627,593.32
jun	28,851	78,363	6,140,759,769	2,260,850,913	-869.26	-1,113.39	1,239,640.20	755,614.46	967,827.49
jul	33,512	93,178	8,682,139,684	3,122,581,136	3,791.74	13,701.61	187,734,080.85	14,377,285.63	51,952,925.84
ago	36,513	108,175	11,701,830,625	3,949,793,775	6,792.74	28,698.61	823,610,141.07	46,141,304.89	194,942,162.28
sep	32,198	86,107	7,414,415,449	2,772,473,186	2,477.74	6,630.61	43,964,971.67	6,139,191.20	16,428,918.62
oct	30,094	81,428	6,630,519,184	2,450,494,232	373.74	1,951.61	3,808,776.50	139,680.94	729,392.54
nov	37,522	83,200	6,922,240,000	3,121,830,400	7,801.74	3,723.61	13,865,261.72	60,867,133.46	29,050,623.67
dic	29,869	76,800	5,898,240,000	2,293,939,200	148.74	-2,676.39	7,163,070.41	22,123.33	-398,084.12
Total	683,566	1,827,957	149,716,092,159	55,783,235,013	0.00	0.00	4,436,666,339.48	735,478,134.43	1,455,876,114.65

Figura E.1: Datos necesarios para el desarrollo de la línea base energética meta.

			y = 1.9795x + 20645		y=2,1532x +8821,3	
MES	HH	kWh	consumo teorico	Real - teorico	consumo meta	potencial ahorro
ene	28.134	70.500	76.336,25	-5.836,25	69.399,43	6.936,82
feb	27.384	66.600	74.851,63	-8.251,63	67.784,53	7.067,10
mar	30.679	91.500	81.374,08	10.125,92	74.879,32	6.494,76
abr	30.949	74.100	81.908,55	-7.808,55	75.460,69	6.447,86
may	26.015	83.100	72.141,69	10.958,31	64.836,80	7.304,89
jun	14.222	62.400	48.797,45	13.602,55	39.444,11	9.353,34
jul	15.046	39.900	50.428,56	-10.528,56	41.218,35	9.210,21
ago	34.555	85.500	89.046,62	-3.546,62	83.225,13	5.821,50
sep	36.525	105.300	92.946,24	12.353,76	87.466,93	5.479,31
oct	34.193	86.700	88.330,04	-1.630,04	82.445,67	5.884,38
dic	33.798	78.000	87.548,14	-9.548,14	81.595,15	5.952,99
ene	27.487	68.817	75.055,52	-6.238,52	68.006,31	7.049,21
feb	28.912	66.713	77.876,30	-11.163,30	71.074,62	6.801,69
mar	31.959	83.759	83.907,84	-148,84	77.635,42	6.272,42
abr	28.349	81.295	76.761,85	4.533,15	69.862,37	6.899,48
may	26.800	76.522	73.695,60	2.826,40	66.527,06	7.168,54
jun	28.851	78.363	77.755,55	607,45	70.943,27	6.812,28
jul	33.512	93.178	86.982,00	6.196,00	80.979,34	6.002,67
ago	36.513	108.175	92.922,48	15.252,52	87.441,09	5.481,39
sep	32.198	86.107	84.380,94	1.726,06	78.150,03	6.230,91
oct	30.094	81.428	80.216,07	1.211,93	73.619,70	6.596,37
nov	37.522	83.200	94.919,80	-11.719,80	89.613,67	5.306,13
dic	29.869	76.800	79.770,69	-2.970,69	73.135,23	6.635,45
		POTENCIAL DE AHORRO kWh				153.209,69
		% DEL CONSUMO				8,38%

Figura E.2: Potencial de ahorro de acuerdo con la linea base meta(kWh).

Anexo F

Estimación de capacidad y consumo fotovoltaico

En este capítulo de los anexos se muestran los supuestos y paso a paso de generación de resultados respecto a la capacidad, en términos de potencia, y consumo energético calculado con la finalidad de evaluar a nivel de perfil de acción de una propuesta de mejora para eficiencia energética. Ver Prefactibilidad de instalación de paneles solares en los estacionamientos de ASMAR-V.

La herramienta utilizada para obtener la capacidad fotovoltaica fue el Explorador Solar del Ministerio de Energía de Chile (`https://solar.minenergia.cl/exploracion`).

Sección F.1

Explorador Solar del Ministerio de Energía

El Explorador Solar del Ministerio de Energía de Chile consiste en una solución desarrollada por el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, que tiene por finalidad permitir a quien desee descubrir el potencial solar de Chile.

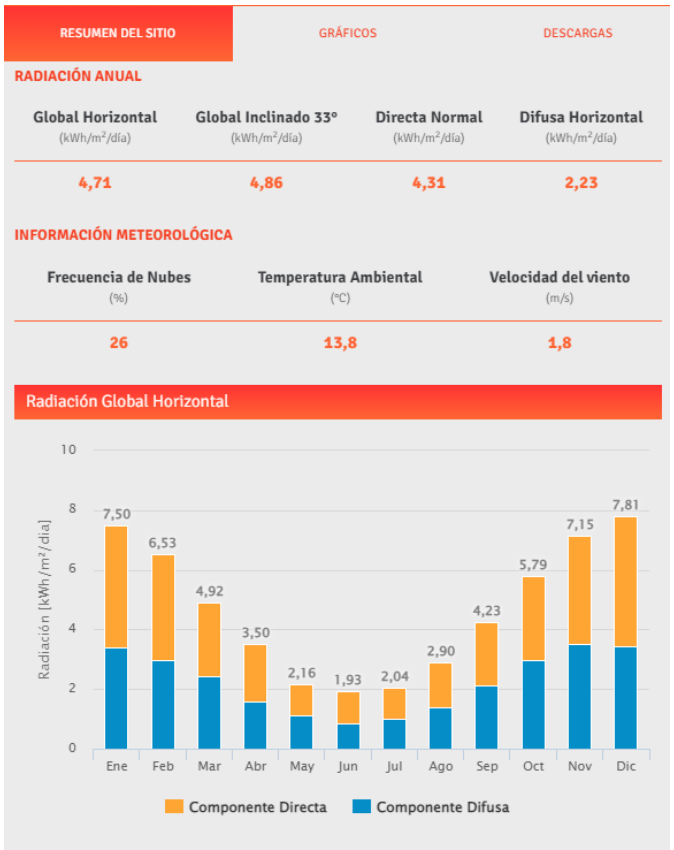


Figura F.1: Resumen de radiación e información meteorológica del sitio geográfico.

La herramienta permite obtener un resumen global de la radiación, frecuencia de nubes, temperatura ambiental y velocidad del viento en la zona geográfica (Figura F.1), también la capacidad estimada de una planta fotovoltaica en kW (Figura F.3) y el ahorro proyectado en consumo mes a mes para una locación y área específicos (Figura F.6).

Sección F.2

Paneles fotovoltaicos en ASMAR Valparaíso

Haciendo uso del Explorador Solar, para encontrar la capacidad fotovoltaica factible para instalar, es necesario posicionarse en el mapa en la locación geográfica de ASMAR-V.

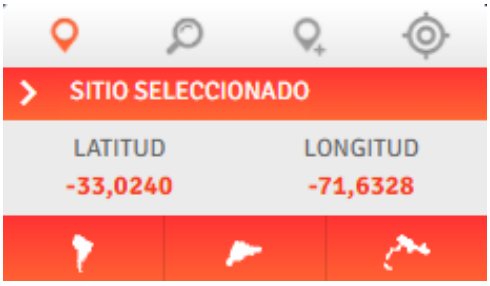


Figura F.2: Coordenadas del estacionamiento de ASMAR-V.

En la ventana que aparece al lado izquierdo de la pantalla, se debe escoger el modelo a utilizar. Para establecer esta evaluación de perfil se utilizó el Modelo Básico que, permite calcular la capacidad fotovoltaica a través de un cálculo estándar sin adentrar en las características físicas y de dominio específico de paneles fotovoltaicos.

Figura F.3: Elección del modelo de generación y estimación de capacidad instalada fotovoltaica.

La capacidad se estimará mediante el cálculo del área disponible en los estacionamientos de ASMAR-V (Figura F.4), frente al patio de la oficina de PUMAR, lo que se hace dibujando un

polígono sobre el mapa que se abre al dar clic en el botón estimar capacidad. Una estimación rápida realizada en el terreno disponible en su totalidad además, no se incluyen los gastos adicionales en la estructura metálica de soporte para paneles solares.

Figura F.4: Estimación de capacidad mediante el área disponible para instalar paneles fotovoltaicos en ASMAR-V.

Después de estimar la capacidad se debe rellenar los datos de tipo de montaje (en este caso paralelo al techo, asumiendo un proyecto de techumbre para estacionamiento y sobre esta los paneles fotovoltaicos) y utilizar la opción *optimizar ángulos*. Sugiriendo la mejor combinación de inclinación del panel respecto al suelo y el ángulo que forma el norte y la posición del sol al medio día en dicho punto del planeta, denominado como azimut solar, indicando así, la orientación del panel o grupo de paneles (Figura F.5).

Figura F.5: Características de la instalación y pérdidas.

Dejando todos los demás valores por defecto en el formulario y apretando en *Calculador de*

generación del sistema fotovoltaico, se obtiene para la zona geográfica donde se ubica ASMAR-V los siguientes resultados:

Figura F.6: Principales factores operativos y estimación de generación solar mensual (kWh).