



**RIDAA**  
Repositorio Institucional  
Digital de Acceso Abierto de la  
Universidad Nacional de Quilmes



Universidad  
Nacional  
de Quilmes

Stutz, Celena Dana

# Diseño de un sistema de gestión de energía aplicable a la manufactura de vidrio plano para la construcción



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.  
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

*Cita recomendada:*

Stutz, C. D. (2023). *Diseño de un sistema de gestión de energía aplicable a la manufactura de vidrio plano para la construcción. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/4010>*

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

# **Diseño de un sistema de gestión de energía aplicable a la manufactura de vidrio plano para la construcción**

***TESIS DE MAESTRÍA***

**Celena Dana Stutz**

celena.stutz@gmail.com

## **Resumen**

La normalización de los procesos entendida como un resultado de la gestión de las organizaciones es un factor determinante a la hora de garantizar su eficacia de manera general. La gestión energética, además, resulta un factor diferenciador como estrategia de negocio para las industrias categorizadas como electrointensivas no sólo en términos de sustentabilidad de los resultados, sino también debido al impacto que supone el consumo de energía proveniente de fuentes no renovables en el entorno en el que opera. El término “eficiencia energética” se refiere a garantizar el consumo mínimo necesario para la producción de un bien o servicio, y por tanto, la búsqueda de la eficiencia implica el pleno entendimiento de la matriz energética interna y externa a la organización, el perfil de consumo de los equipos de la operación y la interacción de los distintos sistemas que lo conforman que permitan trabajar en la optimización. Asumir esta estrategia implica comprometerse con el desafío de la transición energética en sus procesos industriales y de gestión. En este sentido, la norma ISO 50.001 ha demostrado ser una herramienta útil que proporciona un método para que las organizaciones gestionen su consumo energético sin poner en riesgo la continuidad del servicio y mejorando la competitividad del negocio.

El presente desarrollo tiene por objetivo aplicar los requisitos de la citada norma en los procesos de fabricación de vidrio plano para la construcción, diseñando un sistema basado en herramientas aplicables seleccionadas en base a los fundamentos de las prácticas de lean energy, lean manufacturing y confiabilidad. El eje central del estudio toma en cuenta las características operativas y de gestión de la industria de manufactura de vidrio plano en Argentina, y las vincula con la selección de métodos y herramientas mencionada como estrategia de abordaje de un sistema de gestión energético en sus respectivas etapas. El

proceso de validación consiste en la aplicación de diseño de experimentos y estimación de consumos futuros, herramientas complejas recomendadas por el análisis de diseño, a un caso práctico de manufactura de vidrio plano, específicamente en el proceso de producción de vidrio flotado de la empresa VASA (Vidriería Argentina S.A.). La selección se justifica en base al análisis de usos y consumos significativos del caso de estudio.

El despliegue de la herramienta se desarrolla a través de la consulta a expertos del proceso, y consiste en el estudio del comportamiento de las variables operativas del horno de fusión de VASA con mayor incidencia en el consumo energético. Con esta premisa se aborda el estudio acerca de la incidencia de las variables porcentaje de vidrio molido, uso de boosting eléctrico y nivel de carga del horno de manera individual, o bien vinculadas entre sí, y se plantean recomendaciones operativas para maximizar la eficiencia energética sin comprometer el proceso y los niveles requeridos de calidad. La puesta en práctica de las recomendaciones en un período de tiempo estadísticamente significativo para la estabilización del proceso ha demostrado una respuesta positiva en torno a la reducción del consumo energético. La intervención sobre la configuración de consumo de vidrio molido, principalmente, concluye en una disminución del consumo de gas natural, principal fuente de consumo energético, de un 4,46%.



# **TESIS DE MAESTRÍA**

Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA APLICABLE A LA MANUFACTURA DE VIDRIO PLANO PARA LA CONSTRUCCIÓN**

Alumna: Ing. Celena Dana Stutz

Directora: Mg. Lorena Soledad Reinoso

Bernal, noviembre de 2021

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
PALABRAS CLAVE.....	10
INTRODUCCIÓN.....	10
Descripción del problema abordado .....	13
Objetivo de la investigación .....	14
Objetivos específicos.....	14
Hipótesis .....	14
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1 Planteo de la oportunidad de mejora .....	15
1.2 Desarrollo del objetivo central del trabajo de tesis.....	15
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA.....	16
2.1 Contexto normativo .....	16
2.2 Estudio de eficiencia energética aplicada a las organizaciones.....	20
CAPÍTULO 3 – METODOLOGÍA.....	27
3.1 Diseño de la investigación.....	27
3.2 Métodos de recolección y procesamiento de datos .....	27
CAPÍTULO 4 – INDUSTRIA ELECTROINTENSIVA EN ARGENTINA Y CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO PLANO .....	31
4.1 Caracterización del perfil energético de la industria argentina .....	31
4.2 Antecedentes de iniciativas y normativas locales en el ámbito energético .....	41
4.3 Industria del vidrio: Fabricación de vidrio plano .....	45

CAPÍTULO 5 – HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO INTERNO Y SU GESTIÓN .....	52
5.1 Evaluación del consumo energético interno y su gestión – Generalidades.....	52
5.2 Etapas asociadas al análisis de consumo interno y su gestión.....	56
5.3 Herramientas para análisis y gestión del consumo interno.....	64
CAPÍTULO 6 – DESARROLLO DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICO .....	76
6.1 Descripción técnica y caracterización del proceso de producción de vidrio plano .....	76
6.2 Clasificación de las herramientas de gestión aplicables a los requisitos de ISO 50.001 .....	86
6.3 Selección de las herramientas óptimas vinculadas a las características del proceso.....	97
CAPÍTULO 7 – VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN .....	103
7.1 Plan de validación del diseño en caso de aplicación .....	103
7.2 Aplicación del diseño en el caso práctico.....	109
CAPÍTULO 8 - ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS .....	127
8.1 Vinculación del marco teórico con la aplicación del diseño en el caso práctico .....	127
8.2 Buenas prácticas y recomendaciones asociadas a la aplicación del diseño.....	128
8.3 Limitaciones del diseño .....	130
CAPÍTULO 9 – CONCLUSIONES .....	131
9.1 Aportes socio-ambientales de la investigación.....	131
9.2 Conclusiones de la investigación y su validación práctica.....	132
9.3 Aportes del diseño del sistema a la industria bajo análisis.....	133
9.4 Recomendaciones o consideraciones para el futuro .....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	135

ANEXO I: TABLAS DE VALORES HISTÓRICOS DE CONSUMO  
DEL HORNO DE FUSIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LA LÍNEA  
DE BASE ENERGÉTICA..... 139

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

Tabla 1: Cantidad de organizaciones certificadas en ISO 50001:2018 hasta el  
año 2016 ..... 24

Tabla 2: Panel de expertos para consulta sobre el problema de investigación..... 28

Tabla 3: Consumos energéticos de hornos en el año 2019..... 79

Tabla 4: Medidores de consumo de hornos segregados por fuente ..... 79

Tabla 5: Consumos energéticos de procesados en el año 2019 ..... 80

Tabla 6: Medidores de consumo de procesados segregados por fuente ..... 81

Tabla 7: Estimación de consumo eléctrico segregado por equipos de proceso..... 82

Tabla 8: Estimación de consumo de gas natural segregado por proceso..... 84

Tabla 9: Herramientas de organización industrial, lean manufacturing y  
mantenimiento y confiabilidad aplicables a los sistemas de gestión energética  
según ISO 50001:2018 ..... 90

Tabla 10: Vinculación de las herramientas con los requisitos del estándar ISO  
50001:2018 ..... 93

Tabla 11: Criterios para la valoración de herramientas aplicables a  
ISO 50001:2018..... 95

Tabla 12: Criterios de valoración para la definición del nivel de complejidad..... 95

Tabla 13: Valoración de los niveles para cada criterio de las herramientas  
Seleccionadas..... 96

Tabla 14: Criterios para la valoración de la gestión de la organización aplicable

Diseño de un sistema de gestión de energía	
a los requisitos de ISO 50001:2018 .....	98
Tabla 15: Criterios de valoración para la caracterización del requisito en función de la capacidad de gestión .....	99
Tabla 16: Valoración de los requisitos en función de la capacidad de gestión de VASA .....	100
Tabla 17: Herramientas recomendadas para la implementación de un sistema de gestión de energía en VASA.....	101
Tabla 18: Equivalencia de requisitos de normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 e ISO 50001 .....	103
Tabla 19: Herramientas aplicables al capítulo 6 de ISO 50001 para el caso de estudio.....	108
Tabla 20: Consumo de hornos según fuente energética en el año 2019.....	109
Tabla 21: Línea de base energética horno de fusión de vidrio flotado.....	116
Tabla 22: Detalle de etapas descritas en el diagrama de operaciones del horno de fusión .....	117
Tabla 23: Niveles máximos y mínimos para ensayo DOE de tres variables.....	120
Tabla 24: Diseño de DOE de tres niveles sobre el consumo de gas natural del horno.....	120
Tabla 25: Resultados de combinaciones de variable sobre el consumo de gas natural del horno.....	121
Tabla 26: Hoja de datos para la configuración de variables operativas para cada producto.....	124
Tabla 27: Configuración de variables durante campañas de producción de horno de fusión en el período julio-agosto 2021 .....	125

## FIGURAS

Figura 1: Oferta de energía en América Latina y Caribe .....	23
Figura 2: Consumo final de energía por fuentes .....	33
Figura 3: Consumo final de energía por sector expresado en kTEP Año 2017.....	34
Figura 4: Consumo final de energía por sectores entre 1960 y 2017 .....	37
Figura 5: Consumo final de por sectores Residencial/Comercial/Industrial .....	37
Figura 6: Variación de la intensidad eléctrica sensorial .....	39
Figura 7: Precio internacional del barril de petróleo .....	40
Figura 8: Estructura estimada del consumo energético industrial.....	42
Figura 9: Proyectos de eficiencia energética implementados en la planta de General Rodríguez de Mastellone Hnos S.A. durante la primera etapa.....	44
Figura 10: Etapas de fabricación de vidrio flotado.....	48
Figura 11: Consumo de gas natural en m <sup>3</sup> .....	49
Figura 12: Consumo de fuel oil en litros .....	49
Figura 13: Consumo de electricidad en Kw/h .....	50
Figura 14: Relación entre el desempeño energético y el SGEEn .....	56
Figura 15: Proceso de planificación energética.....	53
Figura 16: Registro simple de datos energéticos .....	65
Figura 17: Conversión de unidades energéticas a Joule.....	66
Figura 18: Balance Energético de Argentina en 2010.....	68
Figura 19: Mejora continua basada en la revisión energética .....	71
Figura 20: Correlación lineal entre fabricación pasta de cemento y consumo energético asociado.....	74
Figura 21: Línea de base de energía estimada para el proceso de crudo primario utilizando la producción equivalente .....	75

Figura 22: Mapa de procesos de operación de VASA .....	77
Figura 23: Consumo energético total de VASA en 2019 segregado por sectores distinguidos en tablas 8 y 10 .....	85
Figura 24: Modelo de gestión de energía para la norma ISO 50001 .....	88
Figura 25: Proceso de fabricación de vidrio flotado .....	110
Figura 26: Gráfica IMR de consumo energético total del horno de fusión en el período septiembre 2017-octubre 2020 .....	112
Figura 27: Gráfica IMR de consumo energético total del horno de fusión en el período septiembre 2017-octubre 2020 sin causas especiales de variación .....	113
Figura 28: Curva de normalidad del consumo energético total del horno de fusión en el período septiembre 2017-octubre 2020 .....	114
Figura 29: Análisis de regresión lineal sobre el consumo energético del horno de vidrio flotado .....	115
Figura 30: Diagrama de operaciones del horno de fundición de vidrio flotado .....	117
Figura 31: Análisis multivari de consumo de gas natural en relación con las variables identificadas .....	119
Figura 32: Hoja de datos para diseño de experimentos .....	121
Figura 33: Diagrama de Pareto para efectos de las variables en estudio sobre el consumo de gas natural en el horno de fusión .....	122
Figura 34: Resultados de proyección de las variables dependientes para el consumo de gas natural en el horno de fusión .....	123

## **PALABRAS CLAVE**

- Energía
- Eficiencia energética
- Línea de base energética
- Desempeño energético
- Revisión energética
- Industria de fabricación de vidrio plano

## **INTRODUCCIÓN**

En términos de gestión energética, a nivel global, la implementación de buenas prácticas de eficiencia energética con el objetivo de preservar las fuentes de recursos no renovables y prevenir o disminuir los impactos ambientales asociados a la generación de energía tiene un recorrido relativamente corto en el tiempo.

Los primeros esfuerzos por buscar la eficiencia energética en los procesos, alrededor de la década de los '70, estuvieron vinculados con la optimización de este bien a causa de las crisis por falta de petróleo. En este contexto, la manipulación geopolítica y las presiones económicas asociadas al aumento desmedido de costos impulsaron la introducción de las primeras medidas para “salvar la energía”. En aquel entonces, no se contaba con sistemas de medición para monitorear las variaciones de consumo debido a las características de los procesos, por lo que se abrió el escenario para la aparición de los primeros desarrollos técnicos como las bombas de calor industriales.

Entre los años 1980 y 1990, impulsados por el avance tecnológico y el desarrollo de los ordenadores, empezaron a surgir los sistemas de monitoreo y focalización que colaboraron con la introducción de prácticas asociadas al control de la energía asociado a variaciones en condiciones ambientales, como ser la temperatura, o bien en los niveles o variaciones en el plan de producción.

La tendencia global a la privatización de empresas estatales del sector energético y las características de la relación oferta-demanda, principalmente en los países más desarrollados, constituyó una tendencia a nivel global hacia fines de la década de los '90 (Cortés, E. y Villamizar, G., 2000). Los costos para acceder al servicio energético mejoraron notablemente para las organizaciones como consecuencia de precios bajos de los bienes fósiles, principalmente del crudo, y las alianzas y fusiones de empresas que

fortalecieron la industria. En este marco, se entiende que las empresas pueden acceder a mayores ahorros gestionando sus compras y contratos antes que trabajando en la implementación de acciones o proyectos apuntados a la eficiencia energética.

Sin embargo, Cortés y Villamizar afirman que, aún en este contexto favorable en términos de costos para el desarrollo de actividades industriales, se generan fuertes movimientos ambientalistas que inciden en la oferta energética y se esfuerzan por demostrar que los inminentes avances tecnológicos actuarán en favor de nuevas fuentes energéticas. Este aspecto cobra relevancia y se suma a las consideraciones y compromisos gubernamentales y de las organizaciones ya adquiridos a nivel mundial a partir del protocolo de Kyoto del año 1997, principalmente.

A partir de 2010, empezó a crecer a nivel mundial el interés por la financiación de la eficiencia energética. Entonces, esta valoración volvió relevante el concepto de gestión energética, sobre todo a nivel de las organizaciones, impulsados por la creciente normativa en materia de energía que de manera creciente se viene desarrollando en todas las regiones del mundo. En este contexto surge la norma ISO 50.001, con el objetivo de que las organizaciones que la apliquen sean capaces de estructurar un sistema para mejorar su desempeño energético.

Sobre esta base, es preciso mencionar que, para aquellos sectores que dependen fuertemente del suministro eléctrico en elevadas cantidades y sostenido a lo largo del tiempo, la cuestión energética se vuelve un factor más para determinar su competitividad en términos de costos y de calidad, así como también su continuidad de negocio. El presente trabajo pretende analizar las particularidades de los procesos complejos y electrointensivos en términos de usos y consumo de la energía en sus operaciones, con el objetivo de diseñar un sistema acorde y efectivo para su gestión, basado en los conceptos de la norma ISO 50.001:2018. El análisis se focaliza, como modelo de representación de este tipo de operaciones, en la industria de manufactura de vidrio plano para la construcción. Se considera que este modelo representa de manera central las características mencionadas en torno a la continuidad del negocio y de las operaciones, basado en el suministro energético, además de la alta demanda de servicios que interactúa con el entorno en términos de los impactos en el ambiente que supone su generación.

El proyecto se desarrolla de la siguiente manera; luego de especificar el fundamento de la investigación, en el Capítulo 2 se analiza el contexto normativo a nivel

global, regional y local, concluyendo en el desarrollo de la norma internacional de gestión energética, para luego investigar de qué manera influye el concepto de eficiencia energética en las organizaciones.

El Capítulo 3 define y estructura la metodología del presente trabajo de investigación, de carácter hipotético-deductivo.

En el Capítulo 4 se estudian las características de la Industria Argentina en torno a su perfil de demanda energética y fuentes de generación. Este enfoque se amplía para definir lo relativo a procesos de características electrointensivas, y desarrollar las iniciativas y normativas locales que han tenido lugar en el país en lo que al ámbito energético respecta, con el objetivo de delinear el contexto externo para aplicar al caso de estudio. Finalmente, se desarrollan las características particulares de la industria de fabricación de vidrio plano, con el objetivo de especificar qué implicancias tiene en torno al consumo energético, para que pueda ser posteriormente vinculado al contexto, requerimientos y necesidades locales.

El Capítulo 5 describe de manera extensiva y detallada el proceso de revisión energética, contemplando las herramientas que existen para desarrollarlo, ahondando en las recomendaciones proporcionadas por la familia de normas ISO 50.000, en especial en aquellas vinculadas al rendimiento energético y línea de base energética. El desarrollo se apoya en la industria de fabricación de vidrio plano como modelo. Para esto se desarrollan los aspectos fundamentales del proceso y los elementos que componen la gestión energética, y se procede a realizar un desarrollo de las herramientas específicas que resultan aplicables a cada una de estas etapas.

En el Capítulo 6 se elabora una guía de herramientas aplicable a los sistemas de gestión de energía, basada en los requisitos de ISO 50.001:2018, y posteriormente se analiza en base a las características de la industria electro intensiva de fabricación de vidrio plano para la construcción en Argentina.

Por su parte, el Capítulo 7 tiene por objetivo validar, a partir de la puesta en práctica, la selección de las herramientas recomendadas como aplicables para la manufactura del vidrio plano.

Finalmente, el Capítulo 8 pretende vincular los resultados obtenidos a partir del diseño de la guía de herramientas, incluyendo su validación aplicada al caso de estudio,

con el objetivo de abordar los temas en asociación con el marco teórico provisto durante la etapa descriptiva. Este análisis desarrolla los resultados obtenidos reconociendo los beneficios que se han detectado en el proceso de validación, así como también las limitaciones que posee, dando lugar a las conclusiones presentadas en el Capítulo 9.

### **Descripción del problema abordado**

Un horno de fabricación de vidrio plano para la construcción tiene como característica central un alto consumo energético, debido a que necesariamente debe estar en operación las 24hs diarias, como consecuencia de sus características constructivas con ladrillos refractarios que son sensibles a la disminución de temperatura.

En términos productivos, se consumen 260 KW/H de energía eléctrica por cada tonelada de vidrio producida. Por parte del consumo de gas, la equivalencia resulta en 227,8 metros cúbicos por tonelada. Si llevamos esta referencia a valores absolutos, obtenemos como resultado que, en promedio, se consumen 2.250.000 metros cúbicos de gas natural al mes, mientras que en términos de energía eléctrica el consumo ronda los 4.700.000 KWH mensuales.

El éxito sostenido del proceso productivo se basa en garantizar, por un lado, la integridad estructural del horno de fundición, y, por otro lado, asegurar la calidad del producto, el cual es susceptible a variaciones en el flujo energético que se traducen en defectos de proceso. Cabe destacar que el nivel de consumo energético mensual total mencionado equivale a 36.000 domicilios bonaerenses, entendiéndose con esto el esfuerzo que supone la generación energética para abastecer un proceso productivo de dichas características, y el costo ambiental que la propia generación para las fuentes mencionadas implica.

Considerando el contexto actual y global respecto al consumo de energía proveniente de fuentes no renovables, las restricciones en su consumo y en la prestación del servicio, es preciso referirse al problema de investigación que nos conduce a preguntarnos: ¿Cómo una empresa dedicada a la manufactura de vidrio plano para la construcción, de características de consumo energético electrointensivas y producción continua, puede gestionar el consumo de energía de sus operaciones de manera eficiente, sin poner en riesgo la integridad de sus instalaciones y la calidad del producto?

## **Objetivo de la investigación**

El objetivo central de esta investigación será el de elaborar recomendaciones para el diseño un sistema de gestión que permita mejorar, a partir de su implementación, el desempeño y la eficiencia energética de procesos industriales de características electrointensivas y de operación continua.

## **Objetivos específicos**

- Analizar las características y beneficios de la implementación de sistemas de gestión de energía en procesos electrointensivos.
- Describir los requisitos normativos de ISO 50001:2018, aplicados a la industria.
- Identificar cuáles son las técnicas disponibles en relación con la mejora de la eficiencia energética de los procesos productivos de la industria de fabricación de vidrio plano.
- Diseñar una propuesta de gestión para la implementación de un sistema de eficiencia energética acorde a las operaciones de la industria de fabricación de vidrio plano.
- Verificar que la propuesta de gestión permite obtener beneficios en términos de eficiencia energética.

## **Hipótesis**

Una empresa dedicada a la manufactura de vidrio plano para la construcción, de características de consumo energético electrointensivas y cuyo proceso productivo opera de manera continua, puede gestionar el consumo de energía de sus operaciones de manera eficiente a través de la implementación de un sistema de gestión de energía basado en la norma ISO 50001:2018, sin poner en riesgo la integridad de sus instalaciones y la calidad del producto.

## **CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteo de la estrategia de investigación**

El trabajo de investigación se estructura a partir del análisis normativo del estándar ISO 50.001:2018, con el objetivo de aportar a la gestión energética a través de una solución que intentará satisfacer el logro del objetivo central de la presente tesis.

En primer lugar, la estrategia apunta a desarrollar la metodología aplicable a procesos electrointensivos de operación continua como respuesta a los requisitos normativos del estándar anteriormente mencionado. La primera parte del trabajo de tesis, comprendida por los capítulos 2 a 5 y fundamentalmente descriptiva, se complementa con la segunda parte, a partir del capítulo 6, basada en la descripción metodológica.

Concretamente, la presente propuesta de trabajo de investigación consiste en desarrollar una guía de aplicación de los requisitos normativos de ISO 50001:2018 al proceso de manufactura de vidrio plano para construcción, entendiendo sus particularidades y complejidades.

Para ello, se parte de herramientas ya existentes para cada una de las diferentes etapas de la gestión energética. De esta forma, se pretende diagramar un esquema de herramientas aplicables a cada requisito, en función de las características de la industria, fundamentando el proceso de selección para cada punto normativo, el cual será el entregable del presente trabajo.

### **1.2 Desarrollo del objetivo central del trabajo de tesis**

En términos metodológicos, se procede a diseñar una guía de herramientas aplicables al diseño de un sistema de gestión energético basado en el estándar ISO 50001:2018. Dicha guía se enfoca en el contexto específico aplicable a la industria de vidrio plano para la construcción en la República Argentina.

## **CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA**

### **2.1 Contexto normativo**

Actualmente, el sector energético resulta estratégico para el desarrollo de los países, considerando que sobre su base se desarrolla la economía productiva. Además de esto, las necesidades que existen en términos de inversiones y actualizaciones tecnológicas generan que una gran cantidad de sectores y actores directa e indirectamente relacionados se vean movilizados bajo esta gestión. Del mismo modo, para una organización, de manera independiente a su sector, el consumo de la energía que requieren sus procesos acaba siendo directamente proporcional a sus costos.

Resulta lógico entonces referirse a la energía como un bien sumamente relevante en torno al desarrollo de los mercados y a la competitividad del negocio para las organizaciones de manera particular, más aún en aquellos procesos para los cuales la alimentación energética de manera sostenida e ininterrumpida supone la continuidad de la actividad. En este sentido, entendiendo que las organizaciones operan en entornos que cambian de manera constante, resulta fundamental que su capacidad de gestión acompañe la necesidad de adaptarse de manera tal que las posibles fluctuaciones o variaciones del contexto que, para el presente estudio, se vinculan con el suministro de las fuentes energéticas que sus procesos requieren y, sin dudas, con sus costos.

La gestión energética a nivel global se encuentra enmarcada dentro de la gestión ambiental, cuya historia es relativamente joven a comparación de otras áreas de estudio para las cuales se han desarrollado herramientas de gestión desde los inicios del siglo XX, como es el caso del área de calidad. Esta vinculación entre el medio ambiente y la energía como disciplinas, si bien se da de manera lógica por la naturaleza de ambas temáticas, tiene que ver con la aparición de la necesidad de desarrollar sistemas y herramientas que permitan a los países, y como consecuencia a las organizaciones alcanzadas dentro de sus límites territoriales, mejorar su desempeño ambiental y energético como resultado del creciente desarrollo de tratados internacionales que, eventualmente, se convierten en requisitos de cumplimiento.

De acuerdo con UNEP (2021) los requisitos de cumplimiento en materia ambiental comienzan a delimitarse a partir de la evidencia recolectada desde la década de 1970 y expuesta, por primera vez, en la Conferencia de Estocolmo del año 1972, acerca

de cómo las prácticas habituales vinculadas con la exploración y explotación del entorno para obtener recursos naturales en relación con las necesidades para sostener los procesos productivos y el desarrollo tecnológico e industrial en auge se vinculaban con impactos negativos en los ecosistemas. Vinculado a esto, es preciso remarcar que a la crisis ambiental le sobreviene la crisis económica en el marco de un sistema global en el cual los beneficios buscan ser obtenidos a corto plazo, sin tomar en cuenta la complejidad de los ecosistemas y sus recursos escasos.

Si bien en este sentido, los bienes proporcionados por los ecosistemas pueden ser ampliamente diversos y sus afectaciones pueden ser tan amplias como complejas, el presente trabajo de tesis se centra en abarcar el producto energético sobre la base de los recursos naturales y finitos necesarios para su obtención y procesamiento, principalmente representados por el petróleo, el carbón y el gas. A partir del desarrollo de la Agenda 21, en el marco de la Cumbre de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de mayo de 1992, se introduce por primera vez como compromiso ambiental a nivel global promover el desarrollo sostenible mediante el uso eficiente de energías, introducir energías renovables y reducir el efecto adverso causado sobre la atmósfera por el sector energético, bajo la premisa de asegurar el desarrollo sostenible. Para apoyar esta estrategia y dar seguimiento a los compromisos de la mencionada Cumbre de Río, así como también implementar la Agenda 21 en los diversos planos (tanto de manera internacional, como regional y nacional), se crea la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS). Según mencionan Rogner, Langlois y Mc Donald (2001), en el noveno período de sesiones de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CSD-9), el cual fue el primer período de sesiones de la CSD<sub>2</sub> dedicado a la energía, se observó que "la energía es vital para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible".

Posteriormente, en nuevas instancias que complementaron los compromisos ya mencionados principalmente promovidas por las Naciones Unidas, se establece la promoción del desarrollo e implementación de políticas en el ámbito estatal para el uso y desarrollo de energías renovables como medio para mejorar el desarrollo económico y social.

Dentro del marco del Derecho Internacional de la Energía (DIEn), los tratados internacionales tienen un rol fundamental, y muchas veces clarificador y preciso acerca de las diversas problemáticas que abarcan. En este sentido, Elizarrarás (2008) afirma "El derecho internacional de los tratados en materia energética constituye, de hecho, una de

las disciplinas que más se ha desarrollado en los años recientes, siguiendo el ritmo dinámico y vertiginoso del mercado mundial de la energía y de la política internacional en la materia”. Además, Elizarrarás agrega que esta rama del derecho, en los países más desarrollados, ha evolucionado hasta abarcar la innovación, la introducción de nuevos principios y los diversos criterios de aplicación de las diferentes disciplinas que contribuyen con el concepto de eficiencia energética. Sin embargo, evaluando el grado de desarrollo del derecho energético en América Latina, es posible destacar que la regulación en este sentido responde a esfuerzos de asegurar la colaboración y la integración energética en una región que tiene, aún en la actualidad, grandes dificultades en su distribución, extensión y gestión de la energía.

La integración energética como herramienta de posicionamiento geopolítico para Latinoamérica es un objetivo mucho más importante que la regulación de las actividades con el objeto de preservar las cuestiones medioambientales. Esto incluye no solo al recurso natural, sino también a las comunidades que muchas veces se ven afectadas por el acceso restringido o nulo al servicio, en un mundo que indefectiblemente lo requiere en la actualidad, debido a la priorización de la actividad económico o empresarial. Claramente esta mirada se acentúa considerando que los acuerdos e inversiones celebrados entre los Estados y gobiernos de la región se centran, casi de manera exclusiva, en colaborar en la explotación y comercialización de petróleo y gas natural, profundizando un modelo de gestión basado íntegramente en la generación energética basada en fuentes no renovables. De acuerdo con Ruiz-Caro (2006), mediante la Iniciativa Energética Hemisférica lanzada en Miami en 1991, en el marco de la primera Cumbre presidencial de las Américas, se elaboró un Plan de Acción otorgándole énfasis a la eficiencia energética, la promoción de las energías renovables y limpias y el uso de tecnologías no contaminantes. Años más tarde, en la práctica, el foco estuvo puesto en trabajar en la liberación del sector para dar lugar a las empresas nacionales e internacionales a desarrollarse en pos de la estrategia de expansión, lo cual condujo a problemas de reservas de petróleo y gas principalmente por lo cual el foco político de la cuestión se centró en tomar medidas para retomar un rol más activo de los Estados, poniendo en “pausa” los intereses medioambientales. Definitivamente, la vinculación “recurso natural-producción de energía-desarrollo sostenible” se pone en manifiesto en cuanto uno de los factores se ve afectado (en este caso, acceso a las reservas del recurso

no renovable) y produce un desequilibrio que, para el contexto histórico mencionado, deviene en la intervención estatal, con la contra de la dificultad de inversión.

José Rafael Zanoni (2005) afirma que el entorno en que se desarrolla la integración energética está condicionado por tres cuestiones básicas: la globalización, la integración económica y el desarrollo sustentable. En América Latina y el Caribe, estos tres factores impactan de manera desigual. Uno de los ejes del proceso integrador debería ser la articulación de las políticas nacionales de energía y desarrollo con las políticas globales y regionales, en un contexto en el que la región posee un importante potencial energético que, utilizado de manera racional, puede garantizar un abastecimiento autosuficiente. Debido a la rapidez de los cambios originados por los procesos de integración y las transformaciones dentro de cada país, no resulta fácil que los gobiernos puedan adecuar y coordinar la eficiencia en el abastecimiento energético, dado que la priorización apunta a las reformas internas, donde los problemas son más urgentes. En ese contexto, la planificación del abastecimiento energético va perdiendo importancia y es cada vez menor el interés que se le asigna. Para considerar la integración, deberían reconocerse las interdependencias entre las distintas fuentes energéticas, para poder optimizar el abastecimiento y buscar el costo mínimo, preservando las fuentes agotables. Los proyectos, entonces, deben contemplar la viabilidad ambiental, dentro de ciertas normas que no pongan en situación de riesgo las otras dimensiones del desarrollo regional, considerando además la equidad social.

La cooperación y la posibilidad de que los organismos internacionales de energía profundicen sus actividades y adecuen su organización a los cambios estructurales que se observan en la región parecen ser, una vez más, los principales motores que motiven esta gestión, con el objeto de que estén en mejores condiciones de enfrentar este proceso, junto con una participación activa del sector privado. Andrés Domínguez y Antonio Aledo (2001), se han referido a que la globalización económica y social extiende los problemas ambientales por todo el planeta. No es menor, en el caso de América Latina y su relación con el mundo globalizado, que el impacto de los problemas ambientales calen hondo en su estructura, sin una organización profunda y de base para tratar los temas de eficiencia con resultados visibles a largo plazo.

En línea con la necesidad de desarrollar una gestión para el consumo eficiente de energía, es apropiado destacar que las normas internacionales proporcionan, para este ámbito pero también en otras áreas, un lenguaje común para facilitar estos procesos, ya

que colaboran con el desarrollo de las actividades comerciales de diversos productos y servicios, su clasificación, especificación y el etiquetado; establecen niveles de calidad; y regulan los procedimientos de evaluación y certificación de productos y procesos. Por otra parte, en términos de procesos de carácter global, como es el caso de cuestiones de salud, medio ambiente, seguridad e incluso eficiencia energética, aseguran la intercambiabilidad y la interoperabilidad, del mismo modo que sirven como soporte para desarrollar legislación referida a estos temas. Klaus Wucherer, Presidente de la Comisión Electrotécnica Internacional, afirma que las Normas Internacionales generan confianza global. (Mensaje del Día Mundial de la Normalización, 14 de octubre de 2011)

## **2.2 Estudio de eficiencia energética aplicada a las organizaciones**

En América Latina y el Caribe, se han realizado numerosos estudios en materia de eficiencia con el objetivo de analizar la situación y las perspectivas de las acciones e instrumentos implementados para mejorar la eficiencia energética. Estos estudios, se enfocaron en los avances que se dieron en el marco político, normativo e institucional; en la identificación de los actores que son claves en términos de eficiencia energética, así como su rol efectivo; los recursos y mecanismos de financiación de los programas de eficiencia energética; los resultados de los programas; y en las lecciones aprendidas. En este marco, se ha llegado a la conclusión que la mayoría de los países de la región han sido capaces de emprender programas individuales, proyectos e iniciativas nacionales, del mismo modo en que han diseñado e implementado leyes para mejorar la eficiencia energética. Como referencias, se puede mencionar en Argentina el PUREE (Programa de Uso Racional de la Energía Eléctrica) y PAyEE (Programa de Ahorro y Eficiencia); en Brasil el PROCEL (Programa Nacional de Conservación de Energía Eléctrica), en Colombia el PROURE (Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía) y CONOCE (Programa Colombiano de Normalización; Acreditación; Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía); en Chile el CUREN; en Uruguay el PEE (Programa de Energía Eólica), entre otras iniciativas. Estos programas presentan diversos enfoques de acuerdo con el tamaño y las características económicas de cada país, del mismo modo que la distribución de la población, el acceso a la tecnología y al financiamiento, la regulación y por supuesto, los aspectos climáticos e incluso culturales. Si bien se trata de iniciativas válidas para la temática, no se ha observado una integración regional y mundial en el tema de eficiencia energética. Los informes anteriormente mencionados, coinciden en que la mayoría de los países tienen como denominador común una fuerte insuficiencia

normativa, acompañada por la falta de control y de la coordinación institucional en relación a la normativa, aunque sea escasa, que existe. Las fuentes de financiamiento son muy pocas en relación a los programas de eficiencia energética, del mismo modo que el nivel de estímulos y de incentivos para desarrollar proyectos y tecnologías enfocadas en el concepto de eficiencia son muy pocos. Como resultado de este proceso, débil en la base de su gestión, tampoco se presentan indicadores claros para analizar el cumplimiento de los programas establecidos a nivel nacional.

La región cuenta con la base de datos SIEE (Sistema de Información Económica Energética) y el SIEN (Sistema de Información Energética Nacional), que fueron proyectos impulsados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), sin embargo, la mayoría de los países no dispone de información confiable, sistemática y de buena calidad para monitorear los resultados de los programas de eficiencia energética. En este último aspecto, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), ha propuesto la creación por países de una Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE) para evaluar las actividades de eficiencia energética en la región, tomando como referencia el Programa ODYSSEE, el cual es gestionado por la agencia Francesa ADEME para la Unión Europea. El objetivo principal del programa es que, a partir de la generación de una base común de indicadores para los países participantes, sea posible medir el desempeño de las políticas energéticas desarrolladas individualmente, y por consecuencia, en la región. Si bien la puesta en marcha de una iniciativa de este tipo en la región supone un gran avance en materia de medición y autodiagnóstico, en algunos países de América Latina y el Caribe no se cuenta con capacidad en las instituciones para abarcar los temas vinculados a eficiencia energética, y en consecuencia poder determinar cuáles deberían ser los indicadores específicos además de, en segundo lugar, ser capaces de generarlos de manera sistemática y abarcativa en todas sus actividades. En algunos casos las instituciones se determinan, pero la problemática radica en la pronta rotación interna que dificulta la prolongación y evolución de los programas definidos. La problemática se acentúa cuando consideramos ámbitos que están tomando lugar de manera reciente y requieren un impulso inicial, pero luego una gestión continuada en el tiempo. Esto ocurre con la perspectiva sobre los temas de eficiencia energética. Particularmente en estos casos, se ve afectada la calidad de los datos, lo que conlleva a que las estadísticas sean o bien menos abarcativas de lo que se requiere para representar la realidad, o bien, poco confiables. Como resultado, se ve

afectada la toma de decisiones debido a que, aquello que no se puede medir, no se podrá mejorar.

Por otro lado, el Banco Internacional del Desarrollo (BID) afirma que los indicadores más refinados y detallados en el ámbito de la eficiencia energética vienen dados por los balances de energía útil. En la región, solo Brasil, Uruguay, Paraguay, Perú y República Dominicana están en condiciones de poder realizarlos. Dado que para generar esta base de datos se requiere tener acceso a balances energéticos, cuentas nacionales e información de distintos niveles de actividad, la complejidad resulta evidente cuando el sistema no se encuentra adecuado para tal fin.

Resulta importante destacar que, además de la gestión de los datos e indicadores en la materia, la definición de estándares es fundamental para trazar una ruta a corto y mediano plazo. Según explica el BID “Menor énfasis se ha puesto en el desarrollo de estándares mínimos de EE, que deberían constituir un paso más avanzado en la optimización de los consumos; la existencia de MEPS (minimum energy performance standards) permitiría ir eliminando paulatinamente del mercado a los equipos y elementos más ineficientes en términos de consumo de energía.” (BID, 2017)

La tendencia en los últimos cinco años en todos los países de la región parece ser que la promoción de actividades y proyectos vinculados a la eficiencia energética tome mayor terreno en el ámbito de los edificios públicos, residenciales, alumbrado público y transporte. Este hecho, de algún modo, afectó la intensidad de los programas desarrollados para promover la gestión energética en la industria. De todos modos, según confirma en su informe “Eficiencia energética en América Latina” el BID (2017), se ha podido observar que el mayor esfuerzo que están llevando adelante los países de manera sostenida se vincula con la promoción de que las organizaciones industriales desarrollen y mantengan un sistema de gestión energética basado en la norma internacional ISO 50.001.

El informe de BID (2017) menciona la diversificación de las fuentes de generación energética en América Latina y el Caribe, en la que se puede observar que la mayor oferta de Energía en Mbe se vincula al petróleo crudo y el gas natural, tal como ilustra la Figura 1. Si bien las proyecciones a 2030 parecen indicar que la tendencia es que las fuentes de generación basadas en energías renovables aumenten, aunque aún sin cobrar protagonismo, todo indica que la recomendación principal es la evaluación y puesta en

marcha de planes para consumir energía de manera más eficiente, lo cual disminuye la demanda y como consecuencia el impacto ambiental.

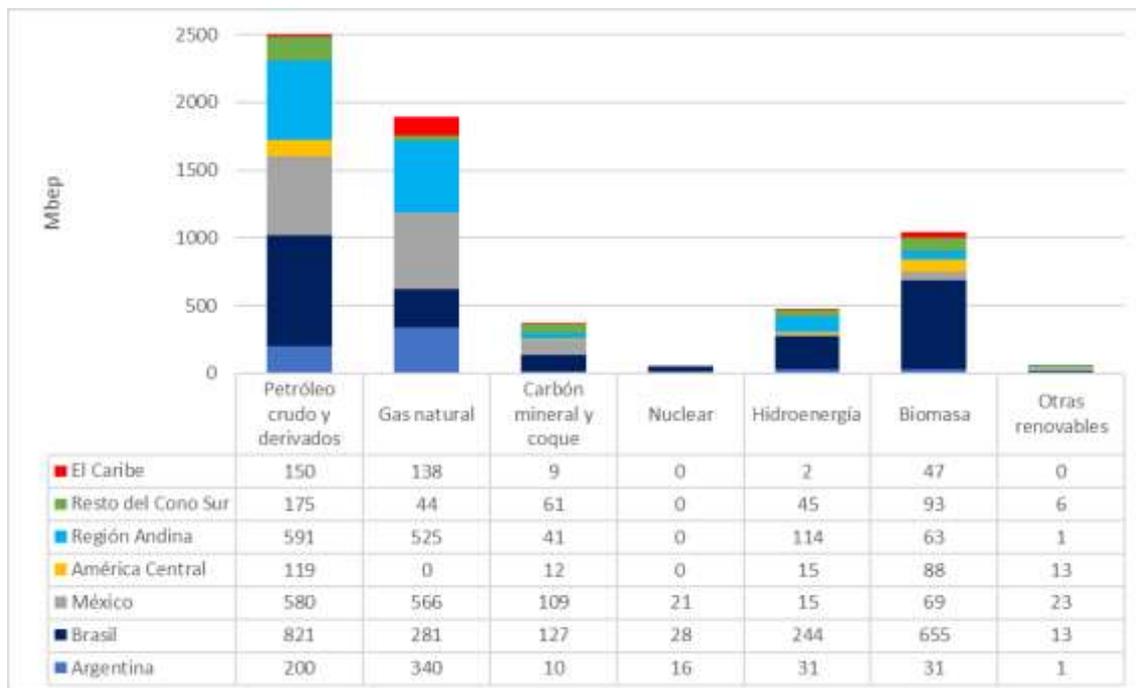


Figura 1 – Oferta de energía en América Latina y Caribe. Fuente: Elaboración propia en base a la información publicada por OLADE – SIELAC (2017)

El rol de las empresas privadas en este proceso resulta fundamental ya que son agentes clave para replicar los modelos en la gestión pública, y diseñar los sistemas con vistas a obtener resultados sostenibles a largo plazo. En este sentido, Juan Carlos Campos Avella, Doctor en ciencias técnicas y miembro del Grupo de Investigación Gestión Eficiente de la Energía, argumenta: “Un amplio estudio de los modelos de gestión de energía usados en el mundo mostró que éstos consideran necesario desarrollar una cultura organizacional para el uso racional y eficiente de la energía, dirigida en términos estratégicos a lograr la sostenibilidad energética y ambiental de los procesos productivos, y en términos tácticos a incrementar el nivel de competitividad empresarial.” (Campos Avella, pág 4, 2008). La problemática para insertar la cuestión energética en las organizaciones suele venir dada porque los marcos para los sistemas ambientales, así como de innovación tecnológica asociada, suelen ser poco compatibles con los sistemas de gestión de la producción. Esta dificultad se ve reflejada en la cantidad de organizaciones de las regiones Sudamérica y Centroamérica que han completado la certificación de ISO 50001:2011 hasta el año 2016. De un total de 20.203 certificaciones

globales alcanzadas en la región, solo el 0,4% corresponde a ambas regiones. (Smarkia, 2017).

Tabla 1 – Cantidad de organizaciones certificadas en ISO 50001:201 hasta el año 2016

Región	Certificaciones acumuladas hasta 2016	% Cuota
Europa	17.099	84,6
Asia Oriental y Pacífico	2.086	10,3
Centro y Sur Asia	659	3,3
Oriente Medio	152	0,8
Centroamérica/Sudamérica	79	0,4
Norteamérica	73	0,4
África	55	0,3

Fuente: Smarkia, 2017

La gestión energética en las organizaciones como disciplina debería ser capaz de mantener un proceso natural y sistemático que permita reconocer y eliminar esquemas de consumo irracionales, detectando el potencial de las fuentes primarias y secundarias para poder emplear la energía considerando los requerimientos de los procesos en pos de poder emplear sistemas de cogeneración. Además, debería destinar recursos a evaluar la sustitución de fuentes de energía empleadas por aquellas con menor impacto ambiental, así como también la búsqueda de nuevas tecnologías limpias aplicables a los procesos. Por supuesto que estas afirmaciones suponen un esfuerzo complejo para las organizaciones en un contexto exterior en el que, si bien la importancia de gestionar los recursos naturales y mantener bajo control las interacciones de la organización con su entorno parece ser una tendencia universal, las condiciones no siempre están dadas cuando, en términos económicos, la justificación no es tan clara a favor del balance ganancia-pérdida de costos para la empresa u organización. Según afirma Berenguer-Ungaro (2017), existen contradicciones para la gestión del uso eficiente de los recursos energéticos en las organizaciones, debido a que por factores políticos, económicos y culturales se considera a la eficiencia energética como un tema de baja prioridad frente a otras temáticas (como puede ser, por ejemplo, la salud pública o la educación). Por otro lado, se adiciona la dificultad a la que se enfrentan las organizaciones para acceder a recursos financieros y tecnológicos para implementar un sistema de gestión energética, así como tomar acciones para aumentar su eficiencia energética.

Las empresas con sistemas de gestión desarrollados en otras áreas, y que toman el concepto de eficiencia energética para el desarrollo de lo propio, cuentan con una base sólida en: la definición de objetivos inmediatos para reducir costos e impacto ambiental y elevar la competitividad; la implementación del modelo de gestión, así como su liderazgo, está en manos de la gerencia; se basan en el modelo de mejora continua (PDCA); cuentan con una estructura para evaluar permanentemente la correcta implementación y aplicación del modelo; y, se realizan revisiones periódicas por parte de la dirección estratégica del funcionamiento del modelo y sus actividades.

En la mayoría de las organizaciones, el control del consumo de energía está supeditado al costo del insumo, con lo cual es habitual encontrar políticas de ahorro de energía del tipo “apagar las luces cuando no se utilizan”. La realidad es que la mejora de la eficiencia energética requiere emplear instrumentos y técnicas de medición con el objetivo de definir prioridades basadas en los usos y consumos significativos, para poder direccionar acciones relativas a la propia operación, o bien, a la necesidad de actualizar/invertir en nuevos sistemas que permitan optimizar el consumo, sin resignar resultados. La norma UNE 216301:2007 constituye el primer documento normativo que abarcó la Eficiencia Energética en las organizaciones en Europa. Esta norma surge en un contexto en el cual los tratados internacionales, principalmente el Protocolo de Kyoto para reducir los gases de efecto invernadero, cobran relevancia para tomar acciones directamente sobre los procesos que más incidencia tienen en la generación de estos. A esto se suma la necesidad de otorgar seguridad en el suministro de energía y a los cambios que el sector energético europeo se encontraba atravesando a partir del año 2000, dentro de los cuales se destacan la tendencia de comenzar a incorporar fuentes de energía renovables, y además, la liberación del mercado. Esta norma contenía una estructura equivalente a la norma ISO 14001:2004, referida al tratamiento de los aspectos energéticos. Así mismo, si bien esta normativa es la más reconocida como precedente a la actual norma ISO 50001, hubo otros promotores normativos locales que contribuyeron en su definición:

- DS 2403:2001 Energy Management-Specification and DS/INF 136:2001 Energy Management-Guidance on Energy Management (Origen: Dinamarca. Carácter nacional)
- SS 627750:2003 Energy Management Systems-Specification. (Origen: Suecia. Carácter nacional)

- ANSI/MSE 2000:2005 A Management System for Energy (Origen: Estados Unidos. Carácter nacional)
- IS 393:2005 Energy Management Systems Specification with Guidance for Use and IS 393:2005 Technical Guideline (Origen: Irlanda. Carácter nacional)

Hacia mediados de los años 2000, la Oficina de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) solicitó a ISO el desarrollo de una Norma de carácter Internacional para gestionar el consumo de energía en el ámbito industrial, ante la necesidad de brindar una respuesta al cambio climático y el rápido desarrollo de normas propias de gestión energética en las distintas regiones y países del mundo. Como respuesta, se crea en 2008 el comité ISO/PC 242 de Gestión de la Energía para desarrollar la norma ISO 50001 que contó con 44 países miembro otros 14 países observadores, el Consejo Mundial de Energía y ONUUDI. Su desarrollo se basó en la revisión e incorporación de los temas más relevantes y abarcativos para la gestión energética ya desarrollados en especificaciones, normativas y regulaciones en todo el mundo.

Según mencionan Carretero Peña y García Sánchez (2012), la Norma ISO 50001, la cual establece cuáles son los requisitos que una organización tiene para establecer un sistema de gestión de energía en pos de gestionar su eficiencia, puede ser implementada por cualquier organización, independientemente de su tamaño, sector y ubicación. Los requisitos de cada organización para/con su desempeño energético se definen y establecen en su política energética, además de lo considerado por los requisitos legales aplicables, siempre bajo el concepto de la mejora continua. De acuerdo con el estándar, el concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo energético, por lo que la organización puede actuar en un amplio rango de actividades de desempeño energético. Las principales ventajas de aplicar el estándar en organizaciones y empresas consideradas claves en su rol de consumidores de grandes cantidades de energía radican en la utilidad y la eficacia que tiene para dar cumplimiento de forma continua a la legislación vigente, para facilitar el proceso de control y rendición de cuentas de gastos y consumos energéticos, y, por supuesto, para implementar y dar seguimiento a las auditorías energéticas.

## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGÍA**

### **3.1 Diseño de la investigación**

El presente estudio emplea el método hipotético-deductivo, el cual se caracteriza por la observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicarlo, deducción de consecuencias o proposiciones elementales, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos a partir de la comparación con la experiencia. El empleo de este método combina la formación de hipótesis y la deducción con la observación y la verificación en base a la evidencia.

### **3.2 Métodos de recolección y procesamiento de datos**

La información para el desarrollo del proyecto, en su componente deductivo, proviene principalmente de fuentes primarias, como son los reportes de producción y de consumo energético proporcionado por el proceso de vidrio flotado de la organización en estudio. Esta información se recolecta en el transcurso de la investigación a través de la consulta a expertos, detallada en el apartado 3.2.2.

Por su parte el componente hipotético, asociado a la exploración del tema de investigación, se constituye por la norma ISO 50.001:2018 como principal fuente secundaria. Dicha fuente se complementa con los informes técnicos de CEPAL y el Ministerio de Producción de la República Argentina para el desarrollo del marco teórico, y con las siguientes referencias para el desarrollo de la metodología propuesta:

- Publicación de Rojas-Rodríguez, D. y Prías-Caicedo, O. (2014): “Herramientas Lean para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001”
- ISO 31.000:2015
- ISO 14.040:2008
- Libro de Cruz, S., González, T., & Camisón, C. (2006): “Gestión de la Calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas”

#### **3.2.1 Población y muestra de análisis**

La población en estudio se constituye por la organización VASA, empresa productora de vidrio plano para la construcción y productos procesados derivados del mismo. Por su parte, la muestra correspondiente al análisis se constituye por el proceso de vidrio flotado de la mencionada organización, concretamente el horno de fusión, a

partir del cual se desprenden las variables operativas en análisis. Dichas variables resultan ser la carga del horno, la proporción de vidrio molido consumidas, y el consumo eléctrico de la operación en KW/H, las cuales se concluye que resultan relevantes en función de las técnicas de análisis empleadas.

### 3.2.2 Métodos y técnicas de recolección de datos

El presente estudio emplea los siguientes métodos de recolección de datos:

- Observación: Como eje central del principio científico, se desarrolla un proceso de observación del fenómeno y sujeto de estudio, presentado en el apartado 1.2.1, con el objetivo de comprenderlo y describirlo, en referencia a sus características y entorno. Este proceso tiene lugar en las propias instalaciones de la organización en análisis. El proceso de observación se complementa con los datos operativos provenientes de registros de producción diarios y de turno disponibles en los sistemas de control automáticos del proceso y del sistema de gestión de la compañía.
- Consulta a expertos: En este proceso, el cual consiste en la participación de expertos técnicos del fenómeno en estudio, se involucra al personal propio de la organización. Dado que el número de expertos a utilizar depende, naturalmente, del nivel de experiencia y de la diversidad del conocimiento se toma como referencia lo expuesto por Hyrkas et al (2003), quienes proponen diez expertos para tener mayor confianza en la estimación. En consideración del conocimiento técnico, teórico, antigüedad en relación con el proceso y la diversificación en el abordaje del problema de investigación se define un panel de expertos que se expone en la tabla 2.

Tabla 2: Panel de expertos de la empresa VASA para consulta sobre el problema de investigación.

Nro. Orden	Función	Departamento	Formación
Experto 1	Jefe de turno	Producción vidrio flotado	Secundario técnico
Experto 2	Líder de turno	Producción vidrio flotado	Secundario técnico
Experto 3	Ingeniero de procesos	Producción vidrio flotado	Ingeniero industrial
Experto 4	Ingeniero de calidad	Control de Calidad	Ingeniero industrial
Experto 5	Jefe de horno	Producción vidrio flotado	Ingeniero industrial
Experto 6	Jefe de mantenimiento	Mantenimiento	Ingeniero mecánico
Experto 7	Gerente de vidrio flotado	Producción vidrio flotado	Ingeniero industrial

Experto 8	Gerente de mantenimiento	Mantenimiento	Ingeniero mecánico
Experto 9	Jefe de Calidad	Control de Calidad	Ingeniero industrial
Experto 10	Técnico de mantenimiento	Mantenimiento	Secundario técnico

Fuente: Elaboración propia

- Experimento: En este sentido se replica un fenómeno observado desde el abordaje teórico y en relación con la consulta a expertos en un ámbito controlado, con el objetivo de poder medir, observar y reproducir sus efectos, y poder comprender sus causas y variaciones. El experimento propio del estudio consiste en la configuración de las variables carga de horno, proporción de vidrio molido consumidas, y consumo eléctrico de la operación en KW/H en valores recomendados como resultado del análisis con el objetivo de evaluar su incidencia en el consumo energético del proceso. La metodología para el procesamiento y conclusión respecto a los datos obtenidos se detalla en el apartado 3.2.3.

### 3.2.3 Análisis de los datos recogidos

En función de los datos técnicos obtenidos mediante la técnica de observación del fenómeno, y a lo largo de las 8 sesiones de consultas a los expertos seleccionados durante el proyecto de investigación, se utilizan las siguientes metodologías de análisis de datos:

- Línea de base energética: Técnica matemática descrita en el capítulo 5 del presente trabajo, basada en el desarrollo de un modelo de regresión lineal. Este modelo vincula dos variables seleccionadas, siendo las toneladas de vidrio producidas y el consumo energético en el caso de este estudio, con el objetivo de obtener un coeficiente de correlación que permita deducir si el modelo explica la variación de la variable independiente.
- Análisis estadístico de procesos: Se trata de un conjunto de técnicas que emplean la estadística para concluir acerca de cuan representativa resulta la incidencia de variables independientes (normalmente denominadas “x”) sobre una o más variables de respuestas (denominadas “y”). Para el caso del estudio, se opta por emplear, en primer lugar, la técnica Multivari para presentar los datos de las variables presuntamente asociadas a la variación del consumo energético, dado que consiste en un análisis gráfico de varianza. Esta

herramienta tiene especial utilidad en las etapas preliminares del análisis de datos, ya que permite interpretar las interacciones y posibles relaciones.

Por otro lado, se emplea la técnica de diseño de experimentos, la cual consiste en ensayar las variables que se presume inciden en la variable de respuesta en valores mínimos y máximos preestablecidos en base al conocimiento del proceso, en un esquema de repetición y estabilización del proceso que permita obtener conclusiones fiables. La definición de dichos valores tiene lugar en las sesiones de consulta a expertos, como así también la planificación de la configuración recomendada para el ensayo y la conclusión de los resultados pertinentes expuestos en el capítulo 7.

Finalmente, la herramienta Optimizer (Optimización de la respuesta) Consiste en una herramienta estadística y gráfica que se utiliza para predecir de qué manera una variable que ha demostrado incidir en la variable de respuesta puede ser ajustada para mejorar el resultado obtenido. Esta técnica se emplea para proponer los valores operativos para la carga/tonelaje, el uso de boosting eléctrico y el porcentaje de vidrio molido que permitan reducir el consumo energético del horno de fusión.

Todas las técnicas de análisis estadístico empleadas en el estudio se desarrollan utilizando el software Minitab.

## **CAPÍTULO 4 – INDUSTRIA ELECTROINTENSIVA EN ARGENTINA Y CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO PLANO**

### **4.1 Caracterización del perfil energético de la industria argentina**

La determinación del estado de los bienes energéticos y el perfil de la demanda de energía, así como también su evolución y proyección en Argentina se encuentran ampliamente relacionados con el contexto social, económico y político que afecta de manera directa o indirecta sus resultados.

En este estudio tomaremos como punto de partida la década de los '90, debido a que en este momento se consolida un nuevo modelo industrial luego del período 1975-1989 en el cual se promovió la desindustrialización. A partir del año 1990, la industria argentina comenzó a adecuarse a un esquema que le permitió responder a la apertura y flexibilidad del mercado internacional. Esto implicó que se fortalezcan las ramas industriales tradicionales, cuya principal materia prima se basaba en un recurso natural. En este contexto, las empresas siderurgias, productoras de petroquímicos y de aluminio fueron las mayores beneficiadas. A partir de entonces el escenario ha mostrado señales de inestabilidad acompañando las fluctuaciones políticas y económicas por las que atravesó el país hasta la actualidad. La primera gran crisis en este período se dio en el año 2001. En este contexto, la industria tenía un nivel de producción similar al de 1975. A partir del año 2002 se retoma el crecimiento influenciado por un tipo de cambio real que fue competitivo hasta el año 2008, sumado al estímulo al mercado interno debido a las políticas fiscales, comerciales y tecnológicas. Según señala Juan Graña (2015), hacia 2003 la composición del sector industrial mostraba una concentración alrededor de las ramas más vinculadas a la producción de commodities industriales para la producción de Alimentos y bebidas, sector que pasó a cubrir por entonces un 25% de importancia, y a la refinación de petróleos y químicos, con una importancia de 28%. A partir de este momento la industria volvió a entrar en fase de crecimiento, alcanzando el mismo nivel de producto industrial por habitante del mejor estadio del proceso de industrialización argentino, que se había dado en 1974. Finalmente, hacia 2012 el sector industrial inició una fase de declive que hasta la actualidad se encuentra fluctuando en intensidad, debido principalmente a las restricciones macroeconómicas dadas en un modelo económico mayormente abierto.

En retrospectiva, volviendo al plano energético, en el período que abarca los años 1990 a 1998, acompañadas por un proceso de crecimiento económico con mayor apertura económica, se producen una serie de reformas en las instituciones y en la economía nacional. Es entonces cuando se sancionan las nuevas leyes de la actividad eléctrica (Ley 24.065), de prestación del servicio de gas (Ley 24.076), y de transferencia de los recursos hidrocarburíferos a las provincias y privatización de la empresa de Yacimientos Petrolíferos Federales YPF (Ley 24.145), y en los decretos de desregulación de esta actividad.

El estado decide entonces retirarse de las actividades productivas, trasladándolas al sector privado a través de la concesión o venta de unidades de negocio, tal como ocurrió con SEGBA, AGUA y ENERGÍA e YPF, entre otras. Esta gestión se trasladó a las provincias, viéndose replicado, por ejemplo, en la privatización de las distribuidas de electricidad.

Los mercados, en este contexto, eran escasamente regulados, particularmente en el caso de la producción de gas, petróleo y electricidad, los cuales respondían a condiciones de competencia de mercados mayoristas. Por otro lado, los mercados de transporte y distribución, por su condición de monopolio natural, contaban con su propia regulación. A partir de la mencionada anteriormente Ley 24.065 (Régimen de la Energía Eléctrica), se prevé, en el artículo 35, la creación de un Despacho Nacional de Cargas (DNDC), el cual debería constituirse bajo la entidad legal de una sociedad anónima. Posteriormente, en el año 1992, mediante el decreto 11/92 se creó la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CMMESA), encargada de la operación del despacho de carga del sistema eléctrico y de las transacciones económicas de ese nivel de comercialización. Su creación tuvo por objetivo asegurar la administración de las operaciones técnico-económicas del mercado mayorista de generación de electricidad. Su constitución tuvo lugar con participación pública y privada.

Como resultado el precio mayorista de la electricidad disminuyó, se incrementó la producción de hidrocarburos y aumentó la eficiencia productiva. Se puede decir que en términos microeconómicos dichos aspectos fueron positivos, sin embargo, desde una perspectiva macroeconómica se generaron cambios regresivos en la distribución del ingreso, sumado a la disminución del nivel de reservas de hidrocarburos. Esto último se vinculó a la creciente explotación de recursos que no se acompañó con un aumento de la

actividad de exploración o bien de inversiones sobre la infraestructura existente. Para este caso en particular, el recurso natural más afectado en la mencionada década fue el gas.

A partir del año 2003, luego de una serie de sucesiones de gobierno como resultado de la gran crisis del 2001, se implementó un plan sistemático de reconstrucción del sector energético en el que se definieron políticas públicas que tendían a promover el uso racional de la energía, el ahorro y la eficiencia energética.

En un contexto de promoción de los programas estatales vinculados con gestión de la energía, se impulsaron políticas relacionadas con la diversificación de la matriz energética, apoyadas principalmente en el uso de recursos renovables (o, en algunos casos, los de mayor disponibilidad como ocurrió con la hidroelectricidad). A esto se adiciona la generación por biomasa y por fuentes renovables como eólica, solar y nuclear; y se revisa el proceso de planeamiento con el objetivo de mejorar los niveles de eficiencia del parque térmico existente fomentando la cogeneración.

Aun cuando el fomento de la diversificación de las fuentes de generación energética tuvo lugar durante un período sostenido de diez años, de acuerdo con los datos del Balance Energético Nacional de 2017 aproximadamente el 77% del consumo final de energía proviene de fuentes no renovables, tal como se puede observar en la figura 2.

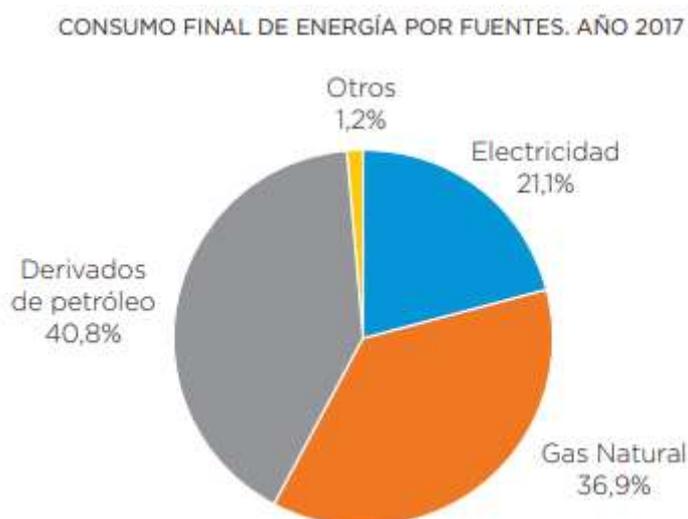


Figura 2: Consumo final de energía por fuentes. Fuente: Informe de gestión 2016-2019 de la Dirección Nacional de Eficiencia Energética

En el mismo contexto en el que se realizó el análisis del origen de las fuentes renovables, también se evaluó el consumo de energía por sectores. Como resultado, según

se observa en la figura 3, el Balance Energético Nacional de 2017 publicó en su informe que el transporte representó el 32,9% del consumo final, siendo el sector de mayor importancia en términos de consumo energético. En segundo lugar, el sector residencial ocupó el 27%, y en tercer lugar se ubicó el sector industrial, el cual representó un 23,9% del consumo. Finalmente, el sector público y comercial ocupó el 8,8% de consumo energético, con lo cual el 7,4% restante le correspondió al sector agropecuario.



Figura 3: Consumo final de energía por sector expresado en kTEP Año 2017. Fuente: Informe de gestión 2016-2019 de la Dirección Nacional de Eficiencia Energética

La demanda eléctrica en Argentina, normalmente, suele oscilar entre 9.500 y 12.000 GWh/mes. Si consideramos un promedio de consumo, y teniendo en cuenta que una vivienda de familia tipo en Argentina consume 200 Kwh/mes, dicho consumo sería equivalente a 50 millones de casas utilizando el servicio. Sin embargo, claro está, la demanda se compone de otros actores que colaboran, además, con la oscilación anteriormente mencionada. Dicha variabilidad depende principalmente de las temperaturas y de las estaciones del año, en una región en la que la amplitud térmica entre los períodos de invierno y verano pueden llegar a sobrepasar los 30 grados de diferencia. Durante los meses de invierno, y particularmente en el mes de julio, la demanda en el sector industrial suele aumentar debido a la necesidad de mayor potencia para sostener los requisitos de los procesos productivos.

Los usuarios que demandan el mercado eléctrico se clasifican en residenciales, comerciales e industriales, entre los cuales se pueden encontrar a los grandes usuarios. El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) define a los grandes usuarios como aquellos agentes que cumplen las siguientes características:

- Grandes Usuarios Mayores (GUMA): Potencia mayor a 1 MW
- Grandes Usuarios Menores (GUME): Potencia se encuentra entre 0,1 y 2 MW
- Grandes Usuarios de la Distribuidora (GUDI): Potencia mayor a 0,3 MW

Cabe destacar que un Gran Usuario no necesariamente equivale a un usuario electrointensivo, debido a que dicha categorización no tiene en cuenta únicamente el consumo de manera absoluta, sino que además se consideran otras particularidades. De acuerdo con la resolución N° 327/16 del Ministerio de Producción, las empresas electrointensivas se definen como:

- 1) Empresas industriales manufactureras.
- 2) La energía eléctrica constituye una materia prima del proceso productivo.
- 3) El consumo de energía eléctrica en el producto deberá ser igual o mayor a 5 kWh/kg de producto elaborado.
- 4) Demanda máxima de potencia en el año 2015 superior a 17 MW.
- 5) Vinculación directa a las redes de alta o media tensión (132 - 13.2 kv). Sistema Argentino de Información Jurídica
- 6) Alto Factor de utilización: promedio durante los últimos CINCO (5) años igual o mayor al 65%. Considerando como factor de carga al cociente entre los promedios de demanda de potencia media y la demanda máxima de potencia de cada año.

A partir del año 2017, en función de la resolución conjunta 122/2016 y N° 312/2016 del Ministerio de Producción y Ministerio de Energía y Minería, se habilitó el acceso a las empresas electrointensas y ultra-electrointensivas a un descuento sobre el total de los MW consumidos en el período 2017-2018. En dicho contexto, se especificaron una serie de características que las empresas deben tener para poder acceder, lo cual resulta interesante en términos de definición de las actividades de manufactura en el país que son reconocidas, por la naturaleza de sus procesos, como electrointensivas:

- Fabricación de hilados y tejidos, acabado de productos textiles.
- Aserrado y cepillado de madera.
- Fabricación de productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables.
- Fabricación de papel y de productos de papel.
- Fabricación de sustancias químicas básicas.
- Fabricación de productos de plástico.
- Fabricación de vidrio y productos de vidrio.

- Fabricación de productos minerales no metálicos N.C.P.
- Industrias básicas de hierro y acero.
- Fundición de metales.

A través de los balances energéticos anuales, los cuales se publican en Argentina desde el año 1960, es posible entender la evolución de la demanda y la oferta energética en el país. Para observar el comportamiento de la demanda para el uso final de la energía es preciso, en primer lugar, excluir la conversión de energía (es decir, la cantidad de energía que fue transformada de un formato a otro, como puede ser de electricidad a calor o viceversa), y los usos no energéticos de las fuentes convencionales (como es el caso del petróleo que se utiliza ampliamente en la elaboración de plásticos, entre otros fines). En esta instancia de revisión se consideran las fuentes de energía primarias, las cuales se componen de todo aquello que proviene de la naturaleza, como ocurre con el carbón, el viento que se transforma en energía a través del principio eólico, la madera y leña, etc., y también secundarias, las cuales a diferencia de las primeras se originan como resultado de un proceso de transformación antes de utilizarse (tal es el caso del gas y la energía eléctrica, entre otros). En la figura 4 se puede observar cómo ha evolucionado el consumo final de energía por sectores en Argentina por sectores, en la cual se puede observar que, desde el 2007, las políticas de subsidios al transporte y al consumo doméstico de energía influyeron, según comenta Narvajas (2015), en un aumento de participación de estos sectores en el consumo total de energía.

## Diseño de un sistema de gestión de energía

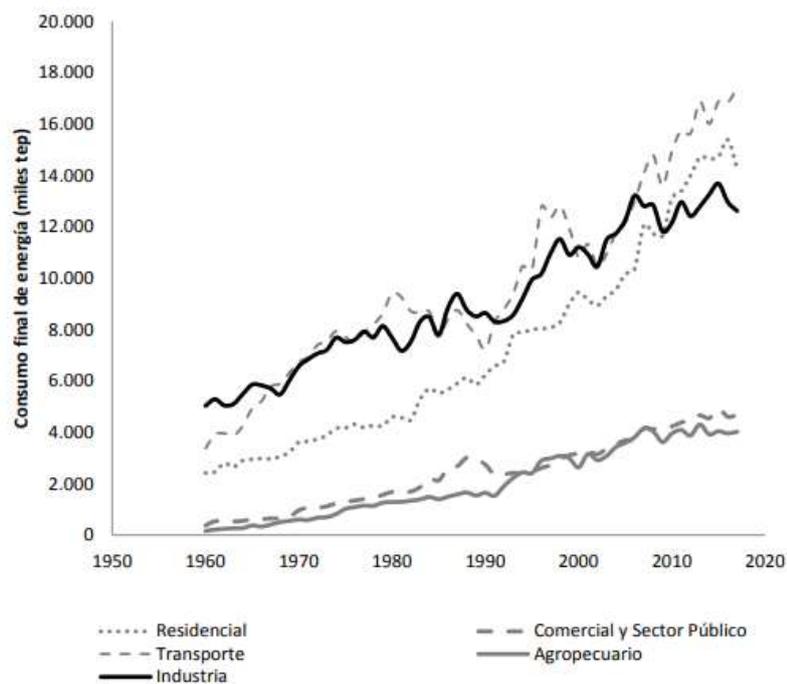
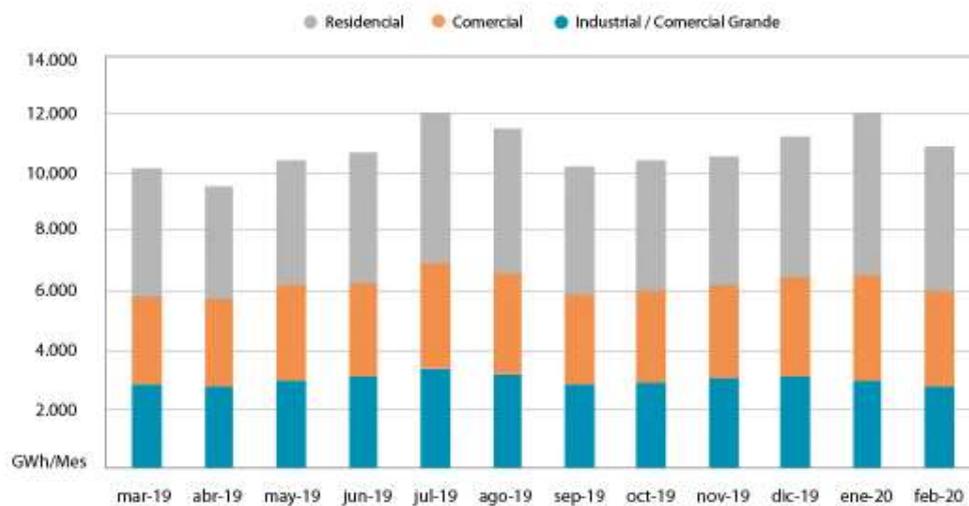


Figura 4: Consumo final de energía por sectores entre 1960 y 2017. Fuente: Balances energéticos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación



	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	feb-20
Residencial	4.352	3.925	4.257	4.471	5.162	4.928	4.392	4.461	4.432	4.805	5.510	4.878
Comercial	2.935	2.872	3.115	3.087	3.481	3.324	2.962	3.009	3.060	3.240	3.474	3.144
Industrial / Comercial Grande	2.834	2.776	3.011	3.087	3.361	3.209	2.860	2.905	3.060	3.129	2.995	2.819

GWh/Mes

Figura 5: Consumo final de por sectores Residencial/Comercial/Industrial. Fuente: Informe de gestión 2016-2019 de la Dirección Nacional de Eficiencia Energética

De acuerdo con el informe realizado por Economía & Energía, durante 2018 el consumo medio de un Gran Usuario fue de 1.243 MWh/mes, pero si se seleccionan únicamente las 500 empresas de mayor demanda eléctrica en el país ese número asciende a 3.839 MWh/mes. Un Gran Usuario Mayor (GUMA) en Argentina demanda en promedio 4.049 MWh/mes y un Gran Usuario de Distribuidora (GUDI) 607 MWh/mes.<sup>1</sup> En 2018 el gasto medio en energía eléctrica sobre la facturación bruta de las principales 500 grandes empresas del país totaliza el 1,5% para los usuarios GUMA y 0,9% para los usuarios GUDI. A nivel sectorial, en las industrias electrointensivas la factura eléctrica equivale al 6,6% de su facturación.

Este análisis también afirma que la tarifa media comercial de Argentina se ubicó en 122 USD/MWh a enero 2019, un 22% por debajo de la media regional de 157 USD/MWh, lo cual sitúa a Argentina en el tercer lugar de las tarifas más baratas de Latinoamérica.

El concepto desarrollado a nivel internacional para medir la incidencia del costo de la energía en los sectores económicos, y por lo tanto la competitividad energética de una economía, es el Costo Unitario Real de la Energía (CURE). El CURE se calcula a partir de las Cuentas Nacionales y por lo tanto consiste en un análisis a nivel macroeconómico. Este indicador mide el costo de energía por una unidad de valor agregado en un sector determinado. A su vez, permite comparar la importancia relativa de los insumos de energía y medir la sensibilidad a los cambios de los precios reales de la energía en un sector determinado. La utilización del CURE a nivel sectorial permite evaluar la tendencia del indicador en el tiempo, como así también obtener distintos indicadores que incluyen la evolución de la intensidad del uso de la energía, que mide la mejora en la productividad de la energía, y el impacto de la evolución de los precios.

De acuerdo con el informe publicado por Economía & Energía (2018), en las industrias electrointensivas el CUREE (Costo Unitario Real de la Energía Eléctrica) creció de forma más suavizada respecto a las demás ramas industriales, debido a que en este segmento la mayoría de las empresas se clasifican como Grandes Usuarios del MEM y por lo tanto la trayectoria de los precios que deben pagar corresponde a la evolución del costo monómico, es decir, menos subsidiado. En las industrias menos intensivas en energía eléctrica el salto entre el período 2012-2015 y el 2016-2018 fue más brusco (el CUREE promedio casi se duplicó) al tener una mayor participación de empresas GUDIs y negocios de menor escala con tarifas de pequeñas y medianas demandas (Economía &

Energía, 2018). En este sentido, las tarifas abonadas por los clientes regulados experimentaron incrementos más significativos respecto a las variaciones de costos del sistema.



Figura 6: Variación de la intensidad Eléctrica Sensorial. Fuente: <https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2020/01/Informe-Competitividad-vf.pdf?x35018>

Cabe concluir entonces que, debido a la baja incidencia de la intensidad de la energía eléctrica en el CUREE de cada uno de los sectores, las fluctuaciones del indicador se debieron principalmente al cambio de precios relativos entre los precios sectoriales y las tarifas eléctricas.

En las industrias electrointensivas de gran escala el incremento del costo eléctrico se verificó desde los primeros años porque el precio pagado por estas empresas siguió la evolución del costo mayorista, creciente, entre otras cosas, por el impacto del período de precios altos de los combustibles en el mercado internacional. Las industrias básicas del hierro y el acero y la fundición de metales gastan anualmente en energía eléctrica un 10,7%, en promedio, de su facturación bruta. Un valor similar al de 2015, pero casi tres veces que el valor del año base. El segundo sector con mayor incidencia del CUREE es el de minerales no metálicos, especialmente el segmento de elaboración de cemento, cal y yeso, donde el crecimiento punta-punta alcanzó el 88%. En tercer lugar, se encuentra la fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear, que en conjunto registraron un crecimiento del índice del 138% entre 2004 y 2018. En la siguiente figura podemos observar cómo ha evolucionado el costo del barril de petróleo en el período mayo 2020-enero 2021, con una tendencia creciente. Este factor no es de

menor consideración para una industria electrointensiva, considerando que, en la distribución actualizada de la matriz energética nacional, el 40,8% de la energía que se produce proviene de derivados del petróleo.

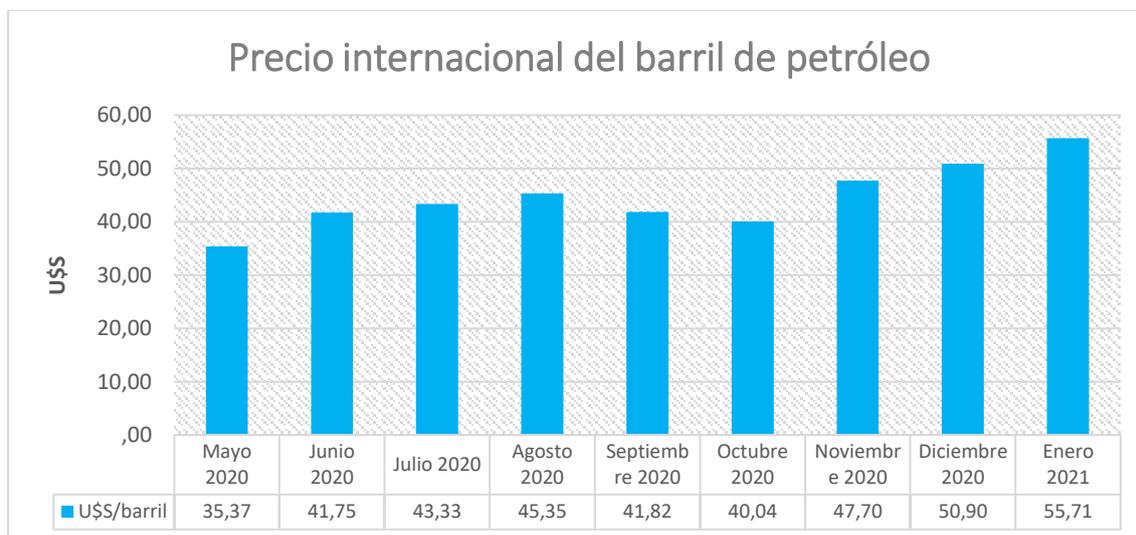


Figura 7: Precio Internacional del Barril de Petróleo. Fuente: Elaboración propia en función de los datos del Artículo 7 inc. C Decreto 488/2020 publicados por la Secretaría de Energía (<http://datos.minem.gob.ar/dataset/precio-internacional-pi-del-petroleo-crudo>)

La eficiencia energética, entendida como la optimización de la producción, distribución y uso de la energía para garantizar el consumo mínimo necesario para producir un bien, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. Eficiencia energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto (Nurhadi, Borén, Ny, & Larsson, 2017). La energía cada día se encarece más, por ello en muchos casos una de las principales partidas del costo total es el costo energético, donde se incluyen los componentes relativos a la producción, distribución y uso de las diferentes formas de energía y el agua. Los aspectos básicos que determinan la competitividad de una empresa o institución son la calidad y el precio de sus productos o servicios. La posición en el mercado y la estrategia de cambio de posición vienen determinadas por la relación calidad-precio con respecto a otras empresas de la competencia.

Hasta el momento el problema de abordar la eficiencia energética se ha efectuado de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Esta vía, además de obviar

partes de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene baja efectividad por realizarse muchas veces sin la integralidad, los procedimientos y los equipos requeridos, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos, pero sobre todo, por no contar la empresa con la cultura ni las capacidades técnico administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas. La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía, ha demostrado la posibilidad de reducir los consumos energéticos de las empresas, fundamentalmente con medidas técnico-organizativas y de baja inversión, así como organizar el control y gestión de ahorro y conservación de los portadores energéticos, identificando el grupo de soluciones técnicas más favorables a los problemas de suministro de energía.

#### **4.2 Antecedentes de iniciativas y normativas locales en el ámbito energético**

El contexto en el que las organizaciones operan determinará su capacidad para poder alcanzar sus objetivos, de modo que no solamente las condiciones dadas internamente resultarán determinantes, ya que el contexto externo jugará un rol muy importante que permitirá potenciar o limitar los esfuerzos de gestión. En este sentido, conocer y poder determinar los factores políticos, económicos y culturales y el modo en el que estos contribuyen a la gestión de la eficiencia energética, es una herramienta que permite a los directivos de las organizaciones tomar decisiones enfocadas para mejorar la misma. (Berenguer-Ungaro, et al., 2017).

En Argentina, durante diciembre del 2015, se creó la Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia, a partir del Decreto 231/15. Esta Subsecretaría nace como un área dependiente de la Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico del Ministerio de Energía y Minería, y se organiza en las áreas de Industria, Residencial, Comercial y Público, Transporte, Planificación, Medición y Verificación, Educación, Programas Nacionales e Internacionales y Comunicación y Difusión.

El consumo total de energía de Argentina, en el año 2015, fue 425,597 miles de barriles equivalentes de petróleo (kbep). Los principales sectores consumidores son el sector transporte, el sector residencial y el sector industrial, que acumulan 80% del consumo, mientras que las tres fuentes más demandadas son los derivados de petróleo, el gas natural y la electricidad, que en conjunto representan 93% del consumo total. Argentina se destaca por ser un país altamente gasificado en su consumo energético.

Si bien con la creación de la Subsecretaría se han contemplado planes y acciones para abarcar cada una de las áreas temáticas mencionadas, en términos de lo que a esta investigación concierne, es preciso destacar algunas determinaciones. Dentro del ámbito industrial, se contempló la creación del Fondo Argentino de Eficiencia Energética (FAEE). Este Fondo se creó con el objetivo de poder financiar a PyMES Argentinas de diversos rubros del sector productivo en proyectos de eficiencia energética para reducir y optimizar el consumo de energía en sus empresas. Hasta la fecha se han destinado 2,8 millones de dólares de dicho Fondo a 37 empresas, a través de una línea de créditos de mediano y largo plazo, desarrollada junto con el Fondo Nacional de Desarrollo de las Pequeñas y Medianas Empresas (FONAPYME).

En cuanto a industrias de gran tamaño, que además consumen grandes cantidades de energía (denominadas electro-intensivas), se determinó el desarrollo de la Resolución Conjunta N° 1-E/2017 del Ministerio de Energía y Minería y el Ministerio de Producción. Dicha Resolución otorga una tarifa preferencial a usuarios electrointensivos y ultraelectrointensivos que sean capaces de presentar mejoras en medidas de eficiencia energética en su proceso productivo.

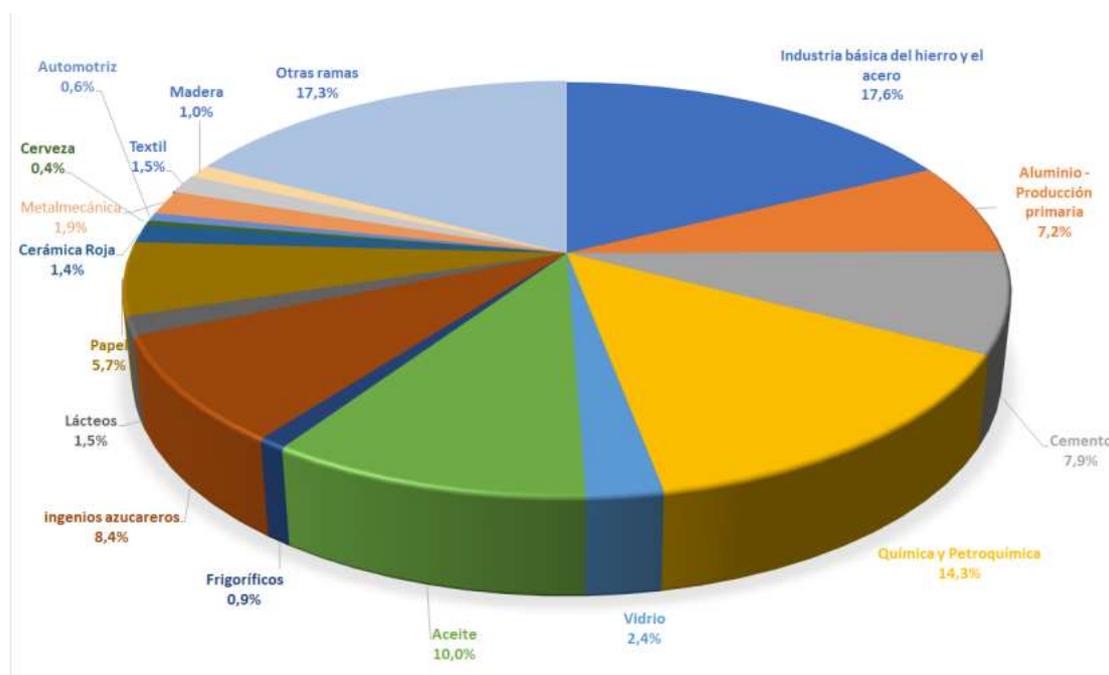


Figura 8: Estructura estimada del Consumo Energético Industrial. Fuente: Informe de Diagnóstico del sector Vidrio (2019)

El Ministerio de Energía y Minería y el Ministerio de Producción convocaron a 665 establecimientos industriales de sectores electro-intensivos a presentarse como

beneficiarios de mencionada Resolución, ofreciéndoles el otorgamiento de un incentivo sobre la factura de electricidad a los establecimientos cuyas presentaciones demostraban avances hacia la implementación de un sistema de gestión de la energía. Finalmente, se lanzó el Premio Argentina Eficiente, como medio de reconocimiento a las organizaciones nacionales públicas y privadas. En su primera edición (2018) se destacó la categoría Sistemas de Gestión de la Energía, en la cual participaron 9 organizaciones distribuidas entre las provincias de Buenos Aires, Santa Fé, Entre Ríos y Mendoza y con procesos variados y características diferentes entre sí, y certificaron dicho sistema a través de la norma ISO 50001, como modo de demostrar un compromiso sostenido en el uso eficiente de la energía.

Como estrategia para enfrentar la problemática del cambio climático, concentrar esfuerzos en mejorar la eficiencia energética permite frenar el aumento de la demanda y en consecuencia disminuir la generación y concentración de los gases de efecto invernadero trabajando desde una gran fuente de consumo. La problemática radica en la complejidad técnica que requiere el desarrollo de un sistema de eficiencia energética, sobre todo cuando no se cuenta con la experiencia previa de haber trabajado con sistemas de gestión en otros campos. La experiencia, aunque aún en el entorno local y regional se encuentra en un estadio inicial, demuestra que los resultados duraderos y significativos se alcanzan únicamente cuando el abordaje es integral, y el enfoque técnico se puede combinar con acciones organizativas y estratégicas para determinar las inversiones, pero solamente esto, sino también las definiciones pertinentes sobre la propia operación que deben abordarse continuamente para mejorar el sistema de gestión.

En Argentina aún son escasos los modelos de éxito por estrategias o planes referidos a abordar la eficiencia energética de manera sistemática en la gestión industrial. Sin embargo, podemos citar como referencia el caso de Mastellone Hnos S.A. (Ministerio de Energía, 2018), una empresa que cuya actividad se vincula al procesamiento de alimentos, principalmente a la línea de alimentos lácteos.

Según refiere el informe realizado por el Ministerio de Energía (2018), la decisión de comenzar a trabajar en el proyecto de implementación de un sistema de gestión energética tuvo lugar en 2016, momento en el cual se definió que el alcance del sistema sería la producción, conservación y distribución de los productos lácteos en una de sus plantas que conforman el predio principal de la empresa, situado en General Rodríguez. En la primera etapa se creó un Equipo de Gestión de la Energía (EGEn) con 17 miembros,

## Diseño de un sistema de gestión de energía

formado por colaboradores de diferentes áreas y jerarquías: gerentes, supervisores, operadores y analistas de sectores tales como producción, mantenimiento, servicios industriales, mantenimiento eléctrico, sistemas de gestión, capacitación, ingeniería, mejora de procesos y medio ambiente.

En el mencionado reporte del Ministerio de Energía (2018), se indica que los resultados económicos están compuestos principalmente por la reducción del consumo de energía y en algunos casos, incluso, por la mejora en la productividad. La reducción del consumo energético alcanzado fue de una mejora del 3,2%, equivalente a un costo de USD 65.658. Esto representa un total de 710.947 kWh en un período menor de 1 año. También se obtuvieron beneficios ambientales y sociales, por ejemplo, una reducción de 263.060 kg de emisiones de CO<sub>2</sub>. En un comienzo se identificaron 245 oportunidades, una cantidad tan grande que excedía la capacidad de análisis de los equipos, por esto se ponderaron según “ahorros potenciales” y “viabilidad” para establecer una prioridad. De esta manera, el equipo debió tratar solo aquellas oportunidades que tenían un gran potencial de ahorro y que podían realizarse en un corto período de tiempo.

PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGETICA	Ahorros potenciales por mes		
	Inversión [USD]	Energía [kWh]	Emisiones [kgCO <sub>2</sub> ]
Iluminación: automatización y sectorización	-	9.400	3.478
Implementación de variador de velocidad en un compresor de amoníaco	20.000	43.500	16.095
Optimización de los depósitos de fermentos congelados	-	138	51
Modificación del punto de seteo de las cámaras frigoríficas	-	8.600	3.182
Identificación de pérdidas en los sistemas de aire comprimido	-	4.500	1.665

Figura 9: Proyectos de eficiencia energética implementados en la planta de General Rodriguez de Mastellone Hnos S.A. durante la primera etapa. Fuente: Ministerio de Energía

En conclusión, en este proyecto la empresa Mastellone Hnos S.A. empleó como recursos 859 horas-hombre en una primera etapa y una inversión total de 41.933 USD. Con un período de repago de 0,64 años, el ahorro económico, sumado a los beneficios por eficiencia energética y disminución de huella de carbono generada por las operaciones, asciende a 65.658 USD.

Este caso demuestra que es viable aplicar una metodología de gestión asociada a la operación y diseño de los procesos de manufactura para alcanzar la eficiencia energética, expresando como resultado beneficios en el campo de la preservación de los recursos no renovables (en un contexto en el que la matriz se compone principalmente por fuentes de generación energética provenientes de petróleo y gas), así como también en el desarrollo sostenible a partir de la disminución de la emisión de CO<sub>2</sub>, y finalmente, en la rentabilidad de la empresa por los ahorros asociados al nuevo perfil de demanda energética sostenido en el tiempo.

### **4.3 Industria del vidrio: Fabricación de vidrio plano**

La fabricación del vidrio se caracteriza por ser un proceso productivo que implica que la materia prima se cargue en un horno de producción continua. Dicho horno debe alcanzar temperaturas de 1.500 °C para que la mezcla llegue a fundirse, y posteriormente la misma se enfría y debe recocerse.

Si bien las principales materias primas son minerales (sílice, álcalis, carbonato de sodio y caliza), existe un uso creciente de material reciclado que representa una oportunidad en cuanto al consumo energético se refiere ya que requiere menor energía para generar la fusión que la materia prima original.

En Argentina, la industria del vidrio se encuentra conformada por la producción de vidrio hueco y vidrio plano. El vidrio hueco es ampliamente utilizado en el mercado minorista y se encuentra principalmente en botellas, envases de alimentos, medicamentos, perfumes y vajilla. El comportamiento de este sector en particular responde a la demanda, principalmente, del consumo de bebidas. Por otro lado, el vidrio plano es un insumo del para el mercado industrial, principalmente la industria de la construcción, aunque también existe un volumen de demanda importante vinculado a la industria automotriz. En relación al vidrio plano, existen además una serie de empresas y establecimientos de menor tamaño que las plantas que elaboran la hoja primitiva, que son los responsables por los procesos secundarios de acabado como el laminado, curvado, templado, pulido, biselado, esmerilado, armado, grabado y satinado.

En la Argentina hay varias empresas que producen vidrio hueco como Cattorini, Rigolleau y Durax. Cattorini es el fabricante nacional de vidrio para contenedores más grande del país, con plantas de vidrio en Buenos Aires, Mendoza y San Juan. Rigolleau es el fabricante de vidrio más antiguo de la Argentina y en su planta de Berazategui

(Provincia de Buenos Aires). Por su parte, la fabricación de vidrio plano en el país se concentra en la empresa VASA (Vidriería Argentina S.A.), la cual posee una planta productora en la localidad de Llavallol, al sur del Gran Buenos Aires.

De acuerdo a un informe del Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (2013), la producción de vidrio muestra una presencia mayoritaria de micro establecimientos y PyMes. Esto no quita que el nivel de concentración empresaria sea relevante. En efecto, el 80,5% de las ventas se concentra en sólo un 7,7% de grandes empresas. En el otro extremo, las microempresas (50,4% del total) explican sólo el 0,8% de las ventas. El resto de las firmas son pequeñas (27,4%) y medianas (14,5%).

Como se mencionó anteriormente, la fabricación de vidrio plano en Argentina se concentra exclusivamente en las operaciones realizadas por la empresa VASA (Vidriería Argentina S.A.), perteneciente al grupo japonés NSG (Nippon Sheet Glass), la cual también elabora vidrio cortado para la industria automotriz. La planta productiva emplazada en la localidad de Llavallol posee seis líneas de producción, de las cuales dos son hornos de fabricación de vidrio (productos primarios), y tres líneas son de procesamiento de vidrio plano (productos secundarios). Las líneas de fabricación de productos primarios consisten en: horno de fabricación de vidrio flotado (Float), con una capacidad de producción de 171.000 Ton/año; y horno de fabricación de vidrio texturado (con dibujo y diversas tonalidades), con una capacidad de producción de 19.919 Ton/año.

Por otro lado, existe un conglomerado de empresas de menor tamaño relativo que elaboran vidrios procesados a partir del vidrio flotado utilizado como insumo, o tareas afines, que exhibe un claro sesgo de localización en el Sur del Gran Buenos Aires, aunque también tiene una concentración relevante en la Provincia de Santa Fe.

La oferta local de vidrios procesados (curvados, laminados, laminados antibala, templados, reflectivos, de baja emisividad, doble vidriado hermético, contra fuego, y con alto contenido de plomo) se compone de un grupo bastante estable de entre 15 y 20 empresas, dado que los requerimientos técnicos de los procesos productivos asociados al vidrio exigen un umbral mínimo de escala relativamente elevado.

Por su parte, el vidrio hueco es utilizado para botellas, envases de alimentos, medicamentos, perfumes y vajilla. Por este motivo, el aumento del consumo de bebidas, como vino y cerveza, impulsa la actividad del vidrio.

Como se mencionó anteriormente, el proceso de fabricación de vidrio consiste principalmente en la fundición de las materias primas en un rango de temperaturas que oscila entre los 1500 y 1600°C, para luego enfriarse lentamente hasta alcanzar un estado plástico que permita el recocido del material (con el objetivo de alivianar tensiones internas), y posteriormente cortarlo y estibarlo.

La etapa de mayor repercusión económica, energética y ambiental es la de fusión, es decir, la mezcla de materias primas a alta temperatura para obtener vidrio fundido. Se trata de una compleja combinación de reacciones químicas y procesos físicos, y puede dividirse en varias fases: caldeo; fusión primaria; afino y homogenización; y acondicionamiento. Representa más del 75% del consumo total de energía y el 90% de la emisión de gases de efecto invernadero de la actualidad. La elección de la fuente de suministro, de la técnica de caldeo y del método de recuperación de calor tiene una influencia decisiva en el diseño del horno. Estas decisiones son también las que más afectan la eficiencia energética del proceso de fusión y sus repercusiones para el medio ambiente. Las tres fuentes de energía más importantes en la fabricación de vidrio son el gas natural, el fuel-oil y la electricidad.

Los hornos eléctricos disponen de una cámara con revestimiento refractario sustentada por un armazón de acero, con electrodos insertados en el lateral, en la parte superior o, lo que es más habitual, en el fondo del horno. La energía de fusión se obtiene por calentamiento resistivo, con el paso de la corriente por el vidrio fundido. Esta técnica se aplica normalmente en los hornos pequeños, en particular para fabricar vidrios especiales. La viabilidad económica de estos hornos tiene un límite máximo de capacidad, que depende del coste de la electricidad en comparación con los combustibles fósiles. Sustituyendo estos últimos, se evita la formación de productos de la combustión.

La fusión combinada por medio de combustibles fósiles y electricidad puede adoptar dos formas: caldeo principal con combustible fósil y sobrealimentación eléctrica; o caldeo principalmente eléctrico apoyado por combustible fósil. La sobrealimentación eléctrica es una forma de aumentar el calor en el horno haciendo pasar una corriente eléctrica por los electrodos situados en el fondo del tanque. Una técnica menos común es utilizar gas o petróleo como combustible de apoyo en un horno calentado principalmente con electricidad.

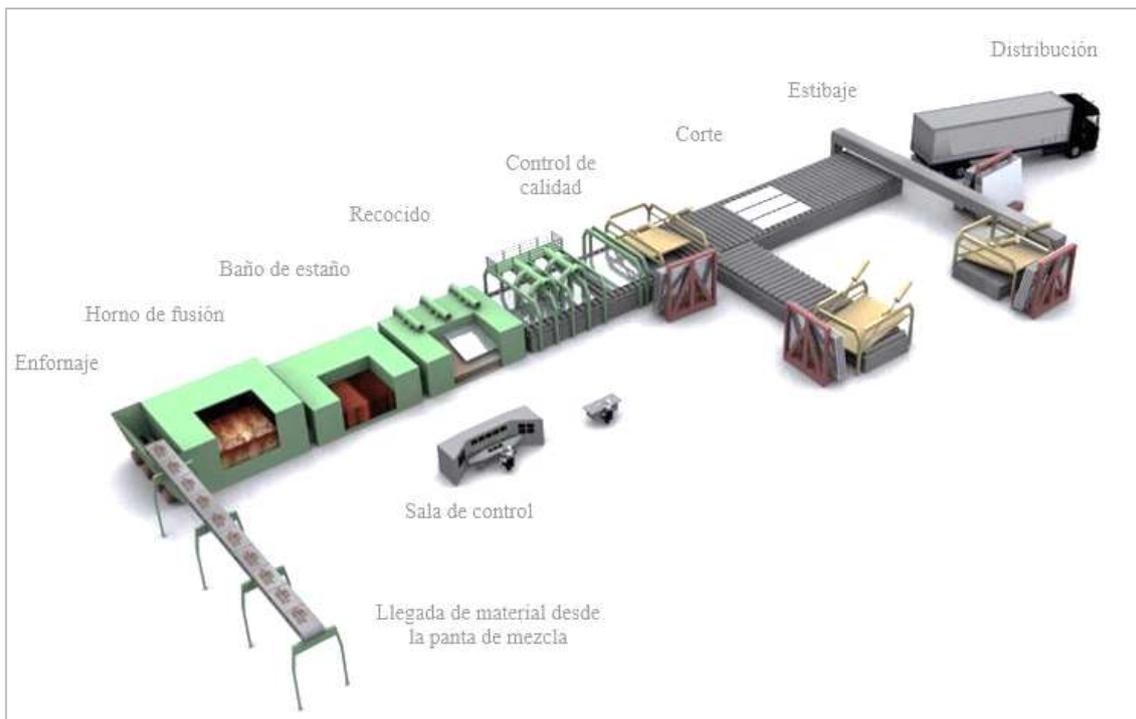


Figura 10: Etapas de fabricación de vidrio flotado. Fuente: Elaboración propia

Para el caso de estudio, se tomarán como referencia las características de los procesos de fabricación de VASA. En este sentido, es importante recalcar que los tipos de energía que se utilizan en los procesos de la empresa se pueden englobar en tres grupos: Combustibles fósiles (Gas Natural, Fuel-Oil, y Gas Oil), Energía Eléctrica y Servicios Auxiliares (Agua, Vapor, y Aire Comprimido). El consumo de energía eléctrica mensual promedio durante el año 2019 fue de 52.191.000 KWH. Este valor es equivalente al consumo energético de 23.000 viviendas en el mismo período. Por otro lado, el consumo de gas natural en el mismo período fue de 49.132.000 M3, y el consumo de agua fue 1.290.000 M3. En las figuras 11, 12 y 13 se puede observar la evolución del consumo eléctrico, de gas natural y de fuel oil en el período 2004-2019.

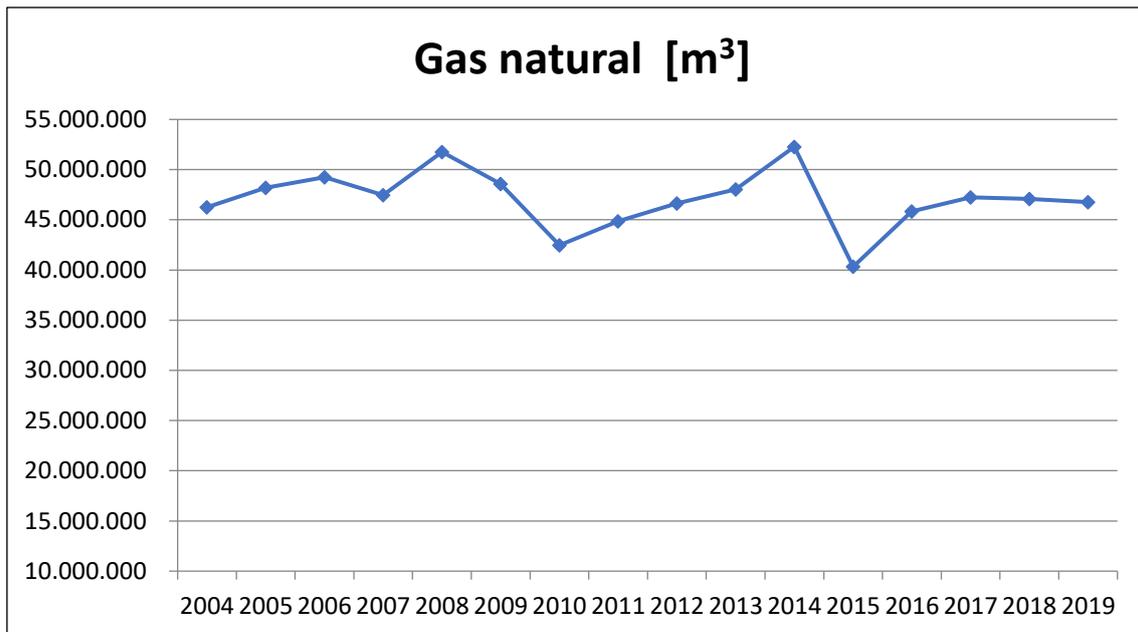


Figura 11: Consumo de Gas Natural en m3. Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por VASA

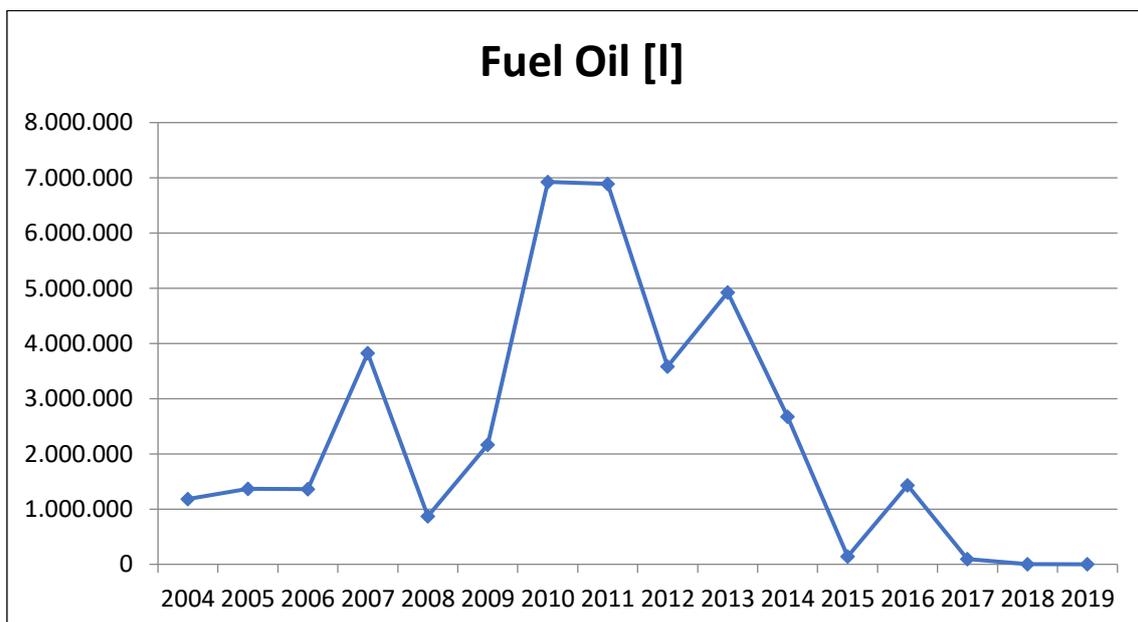


Figura 12: Consumo de Fuel Oil en Litros. Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por VASA

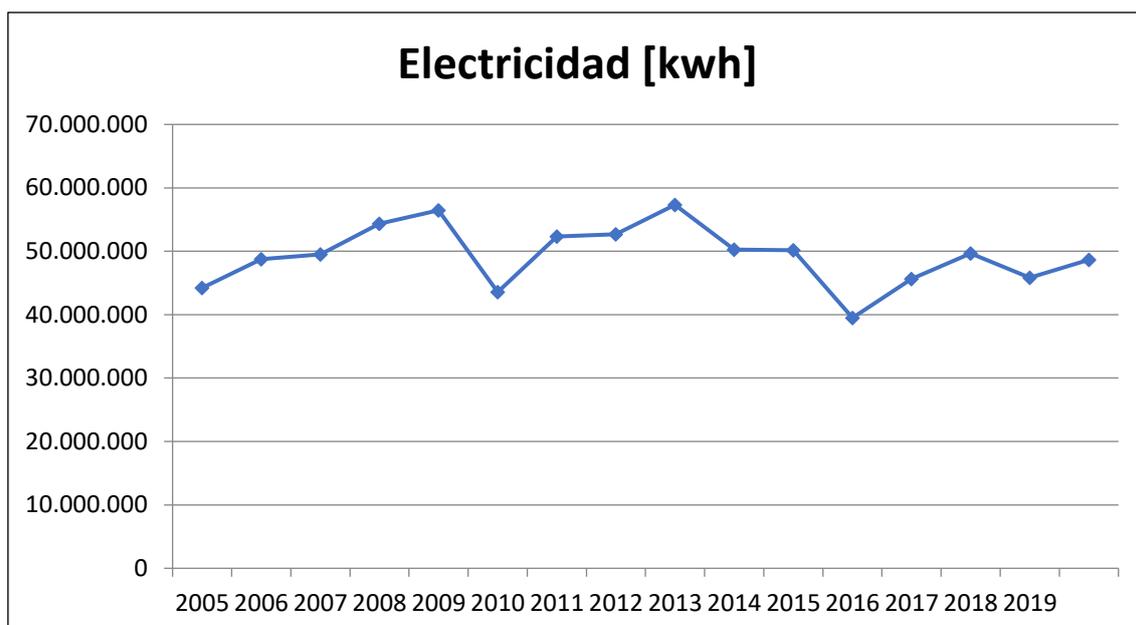


Figura 13: Consumo de Electricidad en Kw/h. Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por VASA

Para el caso del fuel oil, se puede observar un marcado descenso a partir del año 2017, y un prácticamente nulo consumo en los años 2018 y 2019. Este comportamiento se explica a través de la disponibilidad de gas natural durante los meses de habitual restricción del servicio en dicho período, que es esencialmente la estación invernal (junio, julio y agosto). El consumo de energía eléctrica y de gas natural están vinculados esencialmente a la programación de pedidos, ya que en tanto varía el espesor o tamaño de las hojas de producto final la estrategia de producción debe adaptarse, pero también a cuestiones vinculadas a proporciones de materiales en la mezcla que luego será fundida y requisitos de calidad del producto final.

La alta demanda de energía que tiene una organización del tipo del caso de estudio es lo que hace determinante la implementación de un sistema de gestión en este campo, debido a que el perfil de consumo de la empresa, por las definiciones expresadas anteriormente, corresponde a un perfil electro-intensivo. El mismo se caracteriza por un elevado consumo en las horas “valle” del sistema, en el cual se cubre más del 60 por ciento de su demanda de energía eléctrica, presentando también algunos consumos más reducidos en otros horarios, aunque sin grandes variabilidades en la potencia consumida en una y otra situación. El concepto de gestión de la demanda, en este sentido, cobra relevancia para perfiles de este tipo, ya que la demanda difícilmente se pueda reducir si de características del proceso se trata, pero es posible planificar e implementar una serie

de medidas destinadas a influir en el modo de consumir energía de manera que se produzcan los cambios deseados en la curva de la demanda.

La principal característica de estos procesos es que operan de manera continua sin posibilidad de poder detenerse debido a las propiedades de los materiales refractarios que constituyen la superestructura de los hornos.

En términos de cómo las operaciones de un proceso con dichas características afectan el medio ambiente y contribuyen con el cambio climático, cabe destacar en primer lugar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La emisión primaria de GEI de las operaciones de VASA es CO<sub>2</sub>. Con lo mencionado anteriormente, se puede considerar que las tres fuentes principales de emisión de CO<sub>2</sub> se centran en: Quema de combustibles fósiles (Gas Natural, Fuel Oil, Diesel); Uso de electricidad y Fusión de materias primas (carbonatos). Según expresa el “NSG Energy Committee” en su informe del año 2015 en relación a esta clasificación, cabe destacar que 1 kWh de Gas Natural emite 0,18 kg de CO<sub>2</sub>, 1 kWh de consumo de electricidad emite 0,5 kg de CO<sub>2</sub> y 1 Tn de vidrio emite 175 kg de CO<sub>2</sub> (fusión de materia prima).

## **CAPÍTULO 5 – HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO INTERNO**

### **5.1 Evaluación del consumo energético interno y su gestión – Generalidades**

En primer lugar, la norma ISO 50001:2018 define al desempeño energético como los resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía (ISO 50001, 2018). Claro está que el mencionado desempeño aplicado a una organización no resulta en un concepto estático, sino que se trata de la evolución de los resultados a lo largo del tiempo. Dichos resultados, a su vez, son una consecuencia del carácter del uso de la energía.

En un sistema de gestión de energía, los resultados de la eficiencia energética se encuentran asociados a objetivos estratégicos que se establecen a partir de la definición de los procesos, responsabilidades, líneas de acción y política de la organización. Se puede afirmar que el éxito de la gestión para obtener resultados perdurables, en cualquier ámbito de aplicación, se encuentran asociados al método, la disciplina y la retroalimentación. Esto es el diseño del procedimiento adecuado para el objetivo, la disciplina para implementarlo y mantenerlo, y la retroalimentación que permita evaluar si dicha rutina conduce a la organización al desempeño esperado.

Es preciso destacar un aspecto que se encuentra implícito en la definición del método: la medición. Este concepto complejo, entendido como el proceso para determinar un valor (ISO 50001, 2015), abarca no sólo la medición de los resultados alcanzados, sino también de los datos de partida sobre los cuales se desarrollarán las estrategias. Un deficiente proceso de medición inicial puede conducir al fracaso rotundo en el desarrollo de las estrategias para alcanzar los resultados.

El abordaje de un análisis de consumo interno le confiere a la organización la oportunidad de ahondar más allá de aquello que se ve mediante un abordaje integral que ofrecen las herramientas desarrolladas, y que permite direccionar con claridad los objetivos y los planes de acción. Esta afirmación es posible siempre y cuando se garantice que los métodos de medición empleados son adecuados y fiables.

En primera instancia, resulta apropiado traer a colación las definiciones del estándar internacional anteriormente citado, con relación a los conceptos que aplicaremos en el presente capítulo (ISO 50001:2018):

- Energía: Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros medios similares.
- Consumo de energía: Cantidad de energía utilizada.
- Línea de base energética: referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético.
- Eficiencia energética: proporción u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio, productos, materias primas, o de energía y una entrada de energía.
- Sistema de gestión de la energía: sistema de gestión para establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos y las metas energéticas.
- Meta energética: objetivo cuantificable de la mejora del desempeño energético.
- Indicador de desempeño energético (IDEn): medida o unidad de desempeño energético, según lo define la organización.
- Uso significativo de la energía (USE): uso de la energía que representa un consumo de energía sustancial y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.
- Revisión energética: análisis de la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía, con base en los datos y otra información, orientada a la identificación de los USE y de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

El análisis de consumo energético interno consiste concretamente en un estudio que se basa en distinguir la naturaleza, las características y la magnitud de los productos energéticos que son empleados en un proceso. Este concepto como tal no es mencionado en el estándar ISO 50001:2018, sin embargo, es preciso aclarar que dicho análisis se comprende dentro del eje central de la norma y se traduce en diversos requisitos del documento. En este sentido, podemos destacar los puntos 6.3 (Revisión energética) y 6.5 (Línea de base energética) como requisitos centrales (ISO 50001:2018), anteriormente definidos.

Durante el proceso de revisión energética, se desarrolla un análisis cuantitativo y metodológico para entender de manera detallada cuáles son los flujos de cada tipo o grupo

de energía presente en un proceso determinado, o bien en las operaciones de una organización.

La amplitud y profundidad del análisis varía en virtud del alcance que se decida adoptar, también como parte de los requisitos del propio sistema de gestión. Este análisis, independientemente de su extensión, tiene como finalidad realizar una comparación de los consumos y de los usos de la energía; y, además, estimar tendencias de consumo futuro.

De acuerdo con ISO 50001:2018, la línea de base energética consiste en un modelo matemático que logra establecer una relación entre el consumo de los diversos productos energéticos de una organización, y una o varias variables que los afectan.

Establecer una relación consumo-variables no es un proceso complejo, sino que la dificultad radica en que dicha relación matemática sea lo más ajustada posible a la realidad porque de ella dependerá la definición de las estrategias apropiadas para la actividad.

El establecimiento de un sistema de gestión de energía contribuye al uso más eficiente de las fuentes de energía que se encuentran disponibles la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de aspectos ambientales relacionados, pero no se limita estrictamente a este punto. La gestión energética, además, contribuye a mejorar la competitividad de las organizaciones, sobre todo cuando el insumo energético resulta ser central para la sustentabilidad del negocio; tal es el caso de las industrias electrointensivas. Para el grupo de actividades alcanzadas por esta clasificación, cualquier tipo de deficiencia en la gestión de los productos energéticos constituye un riesgo.

El enfoque basado en riesgos, y también de oportunidades, se incorpora en la versión 2018 del estándar internacional ISO 50001. Si bien ciertas características constitutivas del proceso permiten dilucidar los riesgos más relevantes en términos de interrupción del servicio y de afectación a la continuidad de las operaciones, la adhesión de este enfoque permite ampliar la perspectiva para incorporar riesgos y oportunidades bajo un esquema sistemático.

Tomando en cuenta la descripción del contexto argentino en términos energéticos, expuesto en el capítulo 2, se puede destacar que el cambio de precios relativos entre los precios sectoriales y las tarifas eléctricas determinan uno de los principales desafíos en

términos de costos para la industria. Tomando como ejemplo el caso de la industria de fabricación de vidrio plano para la construcción, podemos asumir que la alimentación de energía eléctrica es fundamental para la continuidad de la operación. Es relativamente sencillo de asumir considerando que estructuralmente los hornos constituidos por ladrillos refractarios deben permanecer en operación por una cuestión constitutiva: el material se contrae rápidamente ante la pérdida de calor. La interrupción del servicio de alimentación eléctrica es, claramente, un riesgo relevante.

Como medida de mitigación del riesgo podría decidirse optar por la adquisición de generadores eléctricos alimentados por una fuente alternativa: fuel oil. De esta manera, se requiere identificar cualquier riesgo adicional que pudiera surgir a partir de la implementación de la propuesta. Por ejemplo, el aseguramiento no solo de la cantidad de fuel oil requerida en el momento que el equipo entre en funcionamiento, sino también de la calidad que asegure su óptimo desempeño sin interrupciones, vital para la continuidad del proceso. En consecuencia, la incorporación de un equipo con esas características como modo de mitigar un riesgo significativo apareja, además, la definición de rutinas de verificación periódicas del equipo y sus filtros, el almacenamiento de fuel oil en planta que genera nuevas obligaciones legales y contractuales, un nuevo producto energético y nuevos aspectos ambientales.

El proceso de gestión del riesgo adoptado por el estándar ISO 50001:2018, en el marco de la gestión de los bienes energéticos, resulta fundamental como modo de incorporar nuevas necesidades que aseguren la continuidad del negocio, y estratégicamente, su competitividad.

El desarrollo de un sistema de gestión energética supone un desafío importante para una organización, a diferencia de otros sistemas. Esto se debe a que se requiere necesariamente un proceso de medición meticuloso que conduce a que los límites naturales para definir su gestión (que en la concepción general suele asumirse que abarque todos los procesos), en ocasiones se vean reducidos.

Aun cuando los procesos sean extensos y complejos, pueden existir limitaciones de recursos, de tecnología o de antigüedad que no permiten realizar mediciones minuciosas de manera automática. Esto requiere el involucramiento de las personas, la definición de responsabilidades, la comunicación y la capacitación en pos del cumplimiento de los compromisos asumidos en la política energética.

La figura 14 presenta los elementos que describen la relación entre el desempeño energético y el sistema de gestión de energía:

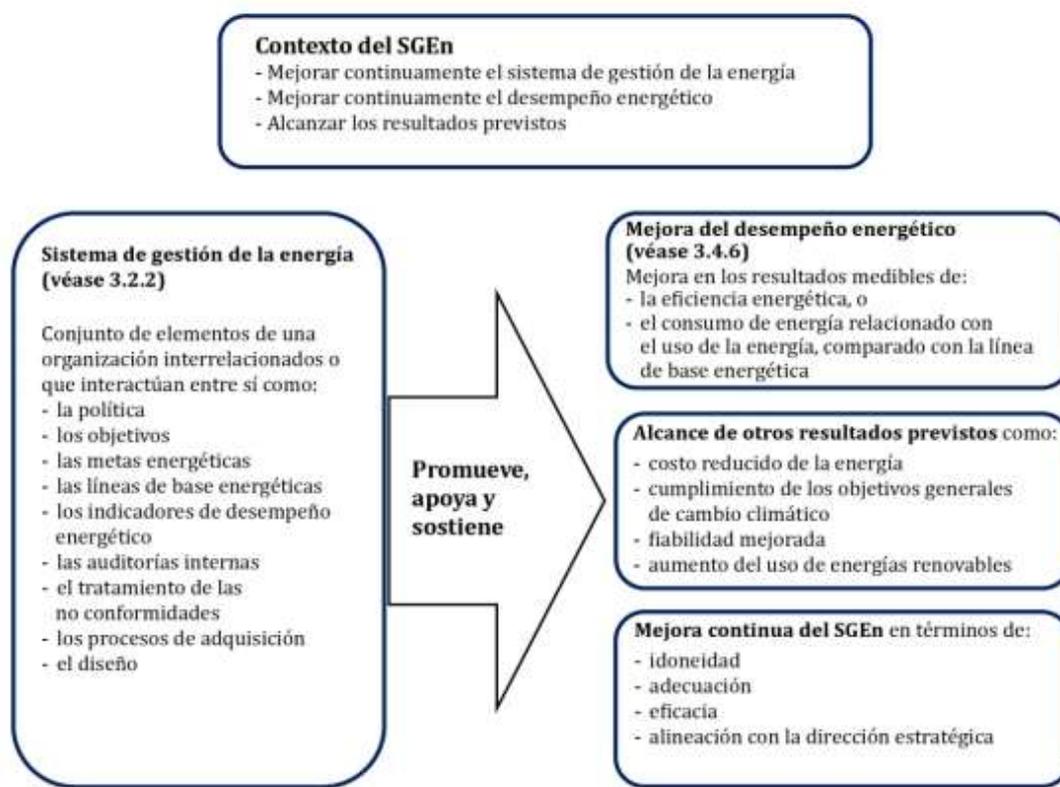


Figura 14: Relación entre el desempeño energético y el SGEn. Fuente: ISO 50001:2018

Resulta importante mencionar que la implementación de un sistema de gestión de energía basado en los requisitos del estándar ISO 50001:2018 no incluye el cumplimiento de compromisos absolutos, más allá de que, de acuerdo con la introducción de la propia norma, la organización establece en su política y por los requisitos legales y de otro tipo por los cuales es alcanzada la operación.

## 5.2 Etapas asociadas al análisis de consumo interno y su gestión

En el apartado 5.1, se ha expuesto la importancia de la definición de un sistema de gestión de energía como método de mejorar la eficiencia energética, principalmente, pero también el compromiso con los grupos de interés, incluyendo aquí cuestiones relativas a la mejora de la competitividad del negocio.

Resulta preciso, entonces, distinguir cuáles son las etapas que conforman el proceso que se desarrolla no sólo en base al análisis estricto de los datos de consumo, sino también en base a la dirección, el compromiso y la estrategia como conductores.

En este sentido, podemos diferenciar dos etapas principales que constituyen la gestión en su conjunto. Estas etapas se pueden segregar, de acuerdo con los requisitos del estándar ISO 50001:2018, en aquellas relativas a las cuestiones estratégicas, y aquellas propias de las cuestiones tácticas y operativas. A fines prácticos estas etapas se presentan como elementos independientes, con el objetivo de que se comprenda su finalidad. En la aplicación, estos elementos interactúan de manera constante como consecuencia del funcionamiento natural de los sistemas. La figura 15 ilustra el marco del proceso de planificación energética que será descrito a continuación.

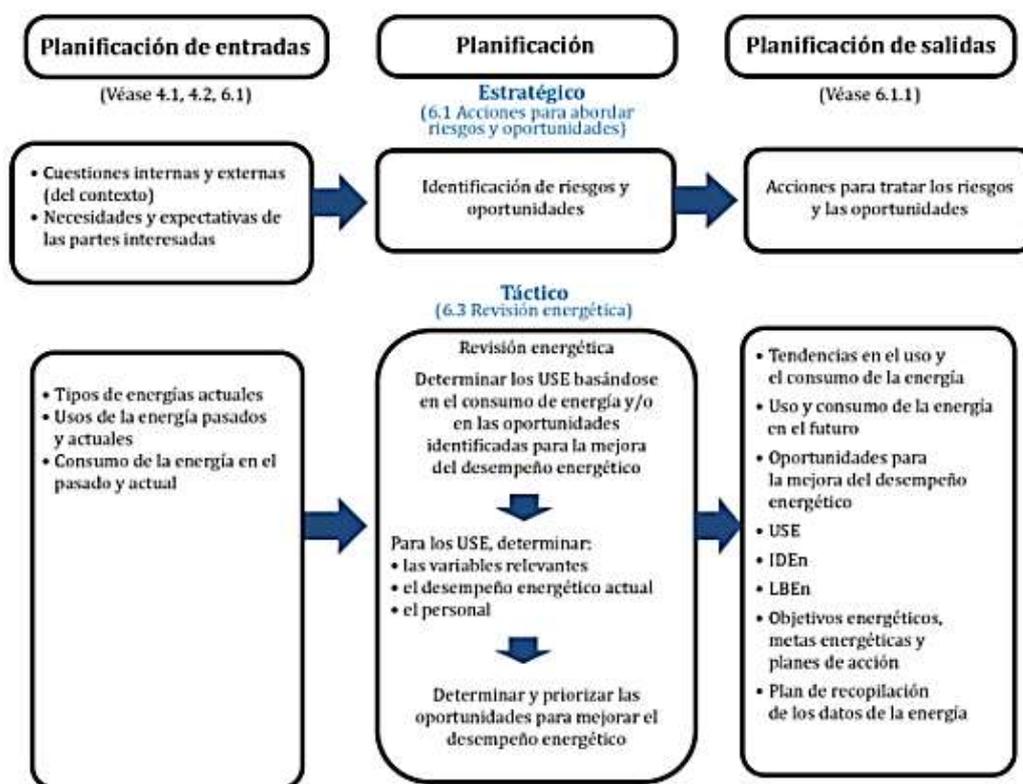


Figura 15: Proceso de planificación energética. Fuente: ISO 50001:2018

### Elementos vinculados a requisitos estratégicos

En primer lugar, es preciso referirse a las cuestiones estratégicas definidas por los requisitos 4, 5 y 7, que corresponden a contexto de la organización, liderazgo y apoyo respectivamente. Dichos requisitos exponen la necesidad de definir los elementos y

recursos requeridos para asegurar que se construya un sistema con bases sólidas. En este sentido, el análisis del contexto organizacional se utiliza para establecer un entendimiento general acorde a la planeación estratégica, además de proporcionar un alto nivel de comprensión conceptual de las cuestiones internas y externas, que pueden afectar, positiva o negativamente, al desempeño energético y al SGEEn de la organización.

Es posible distinguir algunos ejemplos claros de cuestiones del entorno, como ser las circunstancias geográficas, los proveedores o suministradores de energía, las regulaciones gubernamentales y la tecnología disponible. Por su parte, las cuestiones internas pueden estar vinculadas, pero no ser excluyentes, al nivel de capacitación, grado de involucramiento, la planeación estratégica o el nivel de productividad de los procesos.

Resulta relevante tomar en cuenta las necesidades y expectativas de las partes interesadas ya que pueden afectar, de manera directa o indirecta, el desempeño del sistema. El resultado de este relevamiento puede, incluso, influir en la definición de los límites, alcance, diseño e implementación de su estrategia, es decir, funciona necesariamente como marco de referencia para la toma de decisiones posterior. Cabe destacar que el alcance y los límites del sistema son determinantes para ubicar los usos de la energía. Dichos usos pueden considerar actividades, sistemas energéticos, lugares físicos o procesos que tengan mayor influencia en el consumo de energía y su eficiencia energética.

En términos de liderazgo, los requisitos planteados apuntan a destacar que es menester asegurar un esquema de trabajo en equipo que permita aprovechar las habilidades, las capacidades y los conocimientos de los integrantes. Sin embargo, la mayor responsabilidad del cumplimiento de los requisitos se encuentra en la alta dirección. El liderazgo es un elemento que requiere compromiso y es un factor crítico para la eficacia del SGEEn y la mejora continua del desempeño energético; también requiere de un equipo de gestión de la energía con autoridad para lograr que se realicen todas y cada una de las actividades necesarias para cumplir con los requisitos de la gestión de la energía.

En la práctica, la demostración de la implementación de procesos de liderazgo adecuados al sistema de gestión de energía se vincula, principalmente, con las siguientes cuestiones:

- La definición del alcance y límites del sistema de gestión de energía;

- El establecimiento de una política energética a partir de la cual sea posible definir los objetivos y metas energéticas, acordes a la dirección estratégica;
- La relación entre los requisitos del sistema de gestión y los procesos del negocio;
- La revisión, aprobación e implementación de los planes de acción vinculados con los objetivos y metas;
- La disponibilidad de los recursos necesarios para el sistema de gestión de energía y la conformación de un equipo de gestión de la energía, y;
- La definición de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) que representan apropiadamente el desempeño energético.

El requisito estratégico denominado “Apoyo” se considera un tema estructural, debido a que es transversal a todos los procesos desarrollados en el sistema, y, además, es el elemento que sostiene la operación de manera diaria.

El objetivo del requisito de apoyo es colaborar con el cumplimiento de los objetivos y las metas a partir de la definición de los recursos, entre los que se incluyen la competencia, comunicación e información documentada apropiada a la complejidad de los procesos y de la organización.

La determinación de los recursos, por su parte, se vincula con que la organización sea capaz de reconocer sus capacidades actuales, sus necesidades explícitas en función de dicho estado, y también las limitaciones o restricciones del tipo presupuesto, tiempo, falta de conocimientos para la formación, entre otros, que puedan afectar el proceso posterior de adquisición de recursos necesarios.

Las personas y los equipos que conforman el sistema son considerados como entradas del proceso de capacitación, a partir del desarrollo de un modelo de competencias acorde a la organización basado en la educación, la formación, las habilidades o la experiencia que se requieren para el manejo del desempeño energético y de los usos y consumos significativos. En este sentido, la organización determinará y evaluará las competencias del personal.

Una vez definida la política, la estrategia, los objetivos y metas y los roles asociados al sistema de gestión de energía, es preciso desarrollar un plan de comunicación. Dicho plan permite dar a conocer información relevante sobre el desempeño energético de la organización hacia las partes interesadas, según corresponda.

La particularidad de este plan es que debe ser capaz de adaptarse para asegurar la transmisión a los grupos de interés que correspondan, definiendo los medios y temas relevantes a comunicar con el objetivo de garantizar la continuidad de la estrategia sin que se produzcan ruidos u omisión de cuestiones importantes para la toma de decisiones en cada nivel y, además, que se difundan los logros obtenidos.

El conjunto de requisitos estratégicos no estaría completo sin mencionar la información documentada. Concretamente, la información documentada del sistema de gestión de energía tiene por objetivo describir de qué manera se hacen las cosas, pero también de registrar el resultado de las acciones, procesos o planes. Si bien el formato de la información documentada varía sustancialmente dependiendo del objetivo de su implementación y uso, ya sea como procedimientos o instructivos operativos, registros, planes de trabajo o diagramas para definir procesos, el objetivo global es que la organización sea capaz de demostrar el cumplimiento de los requisitos definidos para el sistema de gestión de energía.

#### Elementos vinculados a requisitos tácticos y operativos

Habiendo definido los requisitos estratégicos, que como se ha mencionado tienen por objetivo sentar las bases del sistema de gestión energético y asegurar la sustentabilidad de su estructura, es preciso referirse a las cuestiones tácticas y operativas que definen los requisitos 6 y 8, que corresponden a la planificación y operación, respectivamente.

El proceso de planificación permite comprender el uso presente y pasado de la energía ayuda a la organización a identificar oportunidades de mejora de su desempeño energético. Implica un proceso de recolección profunda de datos asociados a los consumos y que requiere, además, especialización y conocimientos técnicos por parte de los involucrados asociados a los productos energéticos, las técnicas de optimización energética, análisis de los datos, y métricas de rendimiento energético, entre otras.

La planificación energética demanda un inventario de todas las actividades de consumo energético que la organización haya considerado como significativas. El estándar ISO 50001:2018 no establece ningún criterio para definir cuáles son los consumos significativos para los procesos o las actividades.

El objetivo de identificar usos y consumos significativos es entender hacia dónde apuntar la estrategia de tratamiento de las oportunidades de mejora para el desarrollo de los planes de acción, debido a que el hecho de abordar todos los consumos energéticos en una organización es muy complejo.

Este concepto es similar al desarrollado por la norma ISO 14001:2015 de Aspectos ambientales significativos. Se puede establecer una analogía en este sentido, ya que si bien sus requisitos plantean el análisis de los aspectos ambientales de las actividades definidas dentro del alcance del sistema de gestión ambiental (SGA), propone la definición de aspectos ambientales significativos. Nuevamente, la norma no define una metodología para la determinación de este grupo de aspectos, sin embargo, en su Anexo I declara: “Los criterios ambientales para definir los aspectos ambientales significativos se pueden relacionar con el propio aspecto ambiental o el impacto ambiental, pero también se pueden usar otros criterios. [...] Un aspecto ambiental significativo puede dar como resultado uno o más impactos ambientales significativos y por tanto generar riesgos y oportunidades que necesitan abordarse para asegurar que la organización puede lograr los resultados previstos de su sistema de gestión ambiental.” (ISO 14001, 2015)

Retomando la gestión energética se puede presumir que la categorización lógica de “significancia” podría darse según el mayor o menor consumo que tenga cada indicador. De todos, modos, lo cierto es que los criterios de selección son definidos por la propia organización, y cualquiera sea el método adoptado, la correcta valoración resulta clave para garantizar el éxito del proceso de gestión energética.

Es posible resumir las cuestiones fundamentales del proceso de revisión energética en los siguientes puntos:

- Identificar las fuentes de energía que se utilizan en los procesos y recopilar el mayor detalle posible de datos sobre el uso y consumo (pasado y presente).
- Identificar las áreas que afectan significativamente al uso de la energía. En este sentido se deberían considerar las instalaciones en sí mismas, sus equipos, sistemas y personal. Además, se deben identificar, en este punto, todas aquellas variables que afecten al proceso.
- Determinar y analizar el desempeño energético actual de las áreas que se hayan definido como significativas.

- Estimar el uso y consumo futuro de la energía.
- Identificar y proponer oportunidades de mejora

En segunda instancia, y en base a los usos y consumos significativos identificados, deben plantearse los indicadores de desempeño energéticos. Para asegurar que los indicadores se definen correctamente, es fundamental trabajar con precisión, definiendo cuáles serán su alcance y límites, y, por supuesto, la métrica con la que cada uno se medirá.

Uno de los productos más relevantes que surgen de la revisión energética es la línea de base energética, que, como se mencionó previamente en el apartado 4.1, se emplea como referencia (cuantitativa) para medir el desempeño energético, debido a que refleja el alcance real de las actividades que se encuentran en revisión.

Finalmente, la última etapa de la planificación consiste en definir los objetivos energéticos para plantear, posteriormente, los planes de acción. Los objetivos deben ser, necesariamente, claros y medibles, y, en términos generales, los objetivos deberían ser consistentes con la visión de la empresa y los objetivos corporativos. Los objetivos, luego, se transforman en metas prácticas, que serán aplicables a cada segmento del proceso y actividades.

El requisito denominado “operación” se basa en la identificación de los USEn (Usos y consumos Significativos de la Energía) y en la definición de acciones orientadas a la mejora de la eficiencia energética, garantizando que existan procesos controlados y se utilice de una manera óptima la infraestructura disponible en la organización para el desarrollo de sus actividades.

La etapa de operación considera asegurar de manera práctica que se gestionan los riesgos, que se disminuyen los desvíos asociados al mantenimiento de los equipos que generan incrementos inesperados de consumo energético o que afectan la productividad. En este sentido, uno de los mayores potenciales para mejorar el desempeño energético se encuentra en la operación y el mantenimiento de los sistemas. La primera estrategia suele abarcar la optimización o mejora de lo existente, y posteriormente trabajar en la planificación de cambios tecnológicos o de configuración del proceso de producción.

Los criterios de control operacional describen el modo y los horarios de funcionamiento de equipos, sistemas o procesos identificados como usos y consumos

significativos, pero también son sumamente relevantes los criterios de mantenimiento, los cuales definen las características y la periodicidad con que se realizan las tareas preventivas y de revisión de los mismos puntos significativos.

Desde el punto de vista del diseño, las nuevas instalaciones, modificaciones o renovaciones de equipos, sistemas y procesos también deben considerarse desde la perspectiva energética, considerando que la incorporación temprana del desempeño energético en el proceso de diseño produce mejores resultados al evitar realizar evaluaciones de desempeño posteriores.

Finalmente, las decisiones de compra que afecten a cualquiera de los usos y consumos significativos deben comenzar con una evaluación de las necesidades para que las especificaciones de compra, las licitaciones y los contratos incluyan criterios que apoyen la mejora en el desempeño energético; además, debe incluirse un análisis de los costos de la energía durante el tiempo de vida operativo que se planifica o espera.

Los requisitos 9 de evaluación, y 10 de mejora, no se incluyen en las citadas etapas debido a que ambos constituyen tanto la estrategia como la táctica.

El requisito de evaluación, que considera principalmente la revisión del sistema de gestión energética, las auditorías internas y la revisión por la dirección, abarca la revisión de los datos y la información para evaluar el nivel de implementación y de permeabilidad que han tenido las actividades de gestión en los procesos de la organización, con la finalidad de comparar las actividades y los resultados obtenidos en función de lo planificado y ejecutado.

Como última instancia, en relación con el sentido lógico del planteo del modelo “PDCA” (plan-do-check-act) presentado por Edward Deming sobre el cual el estándar ISO 50001:2018 ha basado su redacción, se presenta el requisito “mejora”. Éste establece que, en base al análisis de la información obtenida, se tienen que emprender acciones para demostrar el nivel de progreso alcanzado, las barreras identificadas y los beneficios obtenidos.

El proceso de planificación le brinda a la organización un panorama de los niveles de consumo y eficiencia de los usos de la energía de una organización.

A modo de resumen, es necesario entender el perfil de consumo energético (cómo se utiliza, cuándo se emplea, dónde y con qué fin), para lo cual no se trata exclusivamente de tomar datos operativos en el piso de planta.

En relación con el abordaje inicial del presente apartado, si bien la distinción resulta práctica para la explicación de cada etapa, en la práctica la estrategia y la táctica se reúnen, debido a que el flujo de los tipos de energía que utiliza la organización para sus actividades cotidianas debe ser analizado en conjunto.

A nivel estratégico, comprender el comportamiento se vincula con las cuestiones internas y externas de las partes interesadas, las cuales a su vez tienen necesidades y expectativas con respecto al sistema de gestión de energía y al desempeño energético de la organización. De esta manera pueden identificarse riesgos y oportunidades para establecer acciones que permitan eliminar, mitigar o responder a las diversas situaciones.

A nivel táctico, el tema principal es la metodología y los criterios para la realización de la revisión energética, la cual requiere datos confiables de la energía para formular prospectivas de consumo, identificar oportunidades de mejora, y establecer objetivos y metas energéticas. Para ello, es necesario establecer y dar seguimiento mediante indicadores de desempeño energético y líneas de base energéticas, que deberán estar directamente relacionadas con los usos significativos de la energía, así como con el plan de recopilación de datos de la energía.

### **5.3 Herramientas para análisis y gestión del consumo interno**

La etapa táctica de la gestión energética en las organizaciones abarca, de manera central, el concepto de desempeño energético, definido por el estándar internacional como “Los resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía” (ISO 50001:2018). Bajo esta mirada cabe considerar, entonces, dichos aspectos fundamentales: el consumo de energía entendido como las cantidades utilizadas de los diferentes productos energéticos; la eficiencia energética constituida por la relación de aprovechamiento de los tipos de energía, y finalmente; los usos que se dan a la energía, que comprende la utilización de productos energéticos en procesos productivos o prestación de servicios.

La disponibilidad de información clara, confiable y detallada para desarrollar el análisis es sumamente necesaria considerando que sobre sus conclusiones se trazarán los indicadores desempeño energético, así como también la línea de base energética. Para el caso de procesos complejos, los sistemas de adquisición de datos permiten acceder a un mayor nivel de detalles y precisión respecto a los consumos, sin embargo, en procesos de menor complejidad o recursos es posible desarrollar una estimación por lo menos tendiente a ilustrar el comportamiento del consumo considerando la facturación de los servicios energéticos y realizando un inventario de los equipos que utilizan productos energéticos.

El diseño de la actividad de toma de datos requiere tomar en cuenta una serie de consideraciones:

- Tomar en cuenta todos los productos energéticos comprados, recibidos y también los propios generados por la organización, ya sean: electricidad, gas, petróleo, carbón, combustibles residuales, subproductos, u otros. También puede incluirse el costo correspondiente a cada uno.
- Considerar las unidades de energía que corresponden a cada producto
- Tomar en cuenta el poder calorífico de cada producto
- Considerar los períodos de observación que corresponden a los datos registrados
- Incluir la cantidad de producción asociada a dicho período

En la figura 16, se puede observar un ejemplo de registro diseñado para tomar datos energéticos en una organización:

Período <i>Día</i> <i>Semana</i> <i>Mes</i>	Producción <i>Unidades de</i> <i>producción</i>	Energía eléctrica <i>kWh</i>	Gas natural <i>M3/MJ</i>	Diesel <i>Litros</i>	Otros	Energía total consumida <i>MW/MJ</i>	Unidades de energía/Unidades de producción

Figura 16: Registro simple de datos energéticos. Fuente: Elaboración propia.

La referencia de consumo de los sistemas eléctricos para medir la energía que utilizan es el kilowatt/hora, y se define como el trabajo que realiza un equipo de 1kW

durante una hora. Este registro se vincula con la medición de la potencia en watts (W); considerando que un watt es la potencia desarrollada por la energía de un joule en un segundo. Por su parte, las medidas habituales asociadas a combustibles fósiles son la tonelada equivalente de petróleo (tep) y la tonelada equivalente de carbón (tec), las cuales equivalen a la energía que producirá una tonelada de cada combustible al quemarse.

Como convención, la unidad de energía que se emplea en el Sistema Internacional de unidades (SI) es denominada joule (J), con lo cual es preciso considerar la conversión de unidades de energía al momento de traducir los consumos energéticos de los procesos en una unidad común. La figura 17 ilustra las conversiones apropiadas de cada unidad de energía a Joule (J).

<b>Unidad</b>	<b>Equivalencia en julios</b>
Ergio (erg)	$10^{-7}$ J
Caloría (cal)	4,1868 J
British thermal unit (BUT)	$1,005 \cdot 10^3$ J
Kilovatio hora (kWh)	$3,6 \cdot 10^6$ J
Termia	$4,1868 \cdot 10^6$ J
Tonelada equivalente de petróleo (tep, toe)	$4,1868 \cdot 10^{10}$ J
Tonelada equivalente de carbón (tec)	$2,93 \cdot 10^9$ J

Figura 17. Conversión de unidades energéticas a Joule. Fuente: Club Español de la Energía

La vinculación de los tipos de energía consumida con sus usos resulta fundamental debido a que frecuentemente, un único producto energético puede vincularse a múltiples usos.

Respecto al período de análisis, se debe considerar aquel que represente las operaciones abarcando, por lo menos, un ciclo completo de trabajo y además los efectos de la estacionalidad (ya sea asociada a cuestiones climáticas como a la variación de la demanda). Esta información, vinculada con los registros correspondientes al consumo de energía, permite determinar de manera completa los usos y consumos de energía. El uso significativo de la energía se define, según el estándar internacional, como “el uso de la energía que representa un consumo sustancial y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético” (ISO 50001, 2018).

Es preciso concluir que la información completa sobre el uso y consumos de energía incluye los tipos de energía actuales que se hayan identificado y cuantificado, así como los usos de la energía que se hayan vinculado a la operación, y el consumo de energía medido (o, cuando corresponda, estimado) asociado al uso en el período que se

haya definido para el análisis. Además, como modo de destacar posibles fuentes de datos que brinden información confiable acerca de dichos conceptos, se pueden referir las lecturas de los medidores y sub-medidores de las instalaciones, equipos, sistemas o procesos, los datos de los equipos de operación vinculados a datos de placa, eficiencia del equipo de acuerdo con sus manuales de uso y hojas de datos, los registros de mantenimiento y de servicios, y sistemas de control de datos.

Respecto a la determinación de los Usos y Consumos Significativos de la Energía (USEn), cabe destacar que los mismos son seleccionados por la propia organización mediante la aplicación de criterios determinados, en función del análisis de consumo original. De esta manera, no es posible definir criterios de clasificación de consumos que sean comunes para los procesos llevados a cabo en la industria, aun cuando su capacidad operativa y actividades sean similares, debido a que la estructura determinada por los equipos, sus características, antigüedad y estado de conservación influyen considerablemente en el perfil de consumo.

En este sentido, la definición referida por la norma ISO 50001:2018 establece dos criterios: el primero hace referencia al consumo sustancial de energía, mientras que el segundo considera el uso que ofrezca un potencial considerable para la mejora del desempeño energético. También existe la posibilidad de que la organización determine el criterio para designar aquello que sea “significativo” de sus usos de la energía. Esto se debe a que el consumo sustancial de energía puede identificarse fácilmente en un balance de energía, debido a que suele representar un porcentaje mayor en el total de la energía de la organización. Por su parte, la identificación del potencial considerable para la mejora del desempeño energético puede realizarse empleando los resultados de estudios previos y buenas prácticas relacionadas con los niveles de consumo y eficiencia en los usos de la energía.

Existe una gran variedad de herramientas vinculadas a determinar los consumos sustanciales o las oportunidades de mejora de consumo energético, entre las que se pueden destacar: el balance de masa y energía, el ya mencionado inventario de los equipos que utilizan energía (incluyendo su calificación energética y tiempo habitual de trabajo), y el mapeo de los procesos. Además de los conocidos mapas de procesos y análisis de Pareto y diagramas, cabe destacar una herramienta de mapeo energético denominada “Sankey”.

Los diagramas de Sankey se utilizan para mostrar diversos flujos y sus cantidades en proporción entre sí. El ancho de las flechas o líneas se utiliza para mostrar sus magnitudes, entonces cuanto mayor sea la flecha, mayor será la cantidad de flujo. Las flechas o líneas de flujo pueden combinarse o dividirse a través de sus trayectorias en cada etapa de un proceso, y el color se puede utilizar para dividir el diagrama en diferentes categorías o para mostrar la transición de un estado del proceso a otro. Este tipo de diagramas se pueden utilizar para representar cualquier tipo de flujo en un proceso, sin embargo, suelen ser ampliamente reconocidos por su aplicación en el ámbito energético. Su aplicación ha trascendido a su elaboración para el análisis estrictamente de procesos, y también se han confeccionado a escala nacional e incluso regional y global (ver figura 18), aun cuando se puede destacar como deficiencia que no tiene en cuenta el consumo de los flujos de energía correspondientes a los flujos de energía finales. En este sentido es preciso que el mapeo se complemente con otro tipo de análisis.

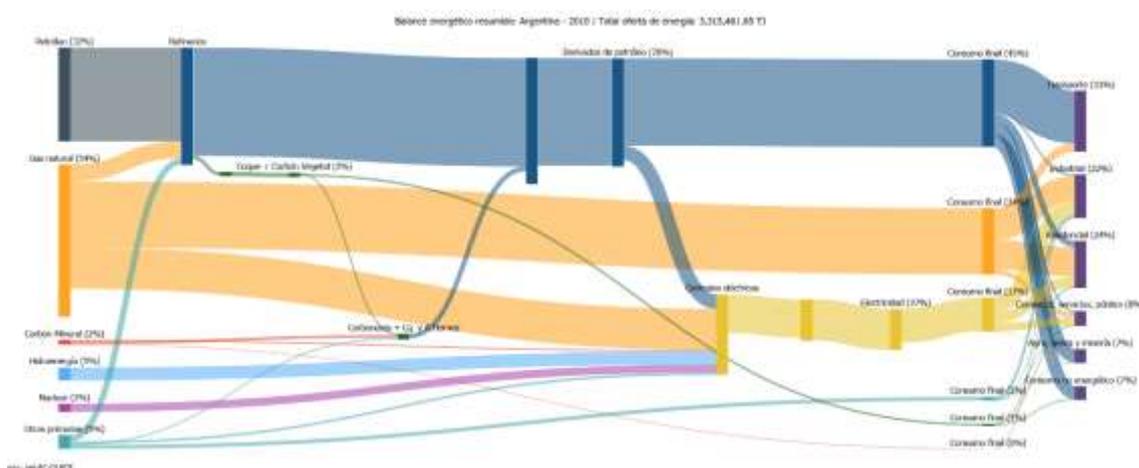


Figura 18. Balance Energético Argentina en 2010. Fuente: SieLAC OLADE

La valoración que permite completar la revisión energética se completa una vez que, a los criterios definidos comprendidos en el análisis posterior a la toma de datos inicial y a los USEn, se suman las consideraciones finales. Dichas consideraciones se vinculan, en primer lugar, con la identificación de variables relevantes que pueden generar variaciones en el nivel de consumo energético y, por ende, en la eficiencia energética. El estándar internacional define a una variable relevante como un “factor cuantificable que impacta en forma significativa en el desempeño energético y cambia de forma rutinaria” (ISO 50001, 2018). En este sentido, la cantidad y duración de turnos de trabajo de acuerdo con el volumen y nivel de producción, la combinación de pedidos y productos o las condiciones ambientales requeridas para el proceso son ejemplos de

variables que podrían considerarse como relevantes, particularmente en procesos de características electrointensivas. En segundo lugar, también existen factores estáticos, que de igual manera que las variables relevantes impactan significativamente el desempeño energético, pero no cambian de manera rutinaria (ISO 50.001, 2018), como ocurre con el tamaño o diseño de las instalaciones. La diferenciación de estas variables en torno al consumo se vincula con tener conocimiento acerca de cómo tomar en cuenta los cambios en el desempeño energético en condiciones equivalentes, a lo cual el estándar internacional define como Normalización.

La línea de base energética es, probablemente, el análisis que más reconocimiento ha tomado en términos de revisión energética. Según mencionan García y Carvajal (2013): “La línea base energética de la empresa representa su comportamiento actual y permite conocer cuál es el desempeño energético real, tal que permita implementar el sistema de gestión de la energía y las técnicas de ahorro y uso eficiente tal que puedan identificarse los posibles impactos que esto traerá en el uso de la energía en la empresa”. Por su parte Guerrero Ponce (2017) afirma que es importante verificar que la base o el punto de partida para el establecimiento de la línea base es un dato confiable a partir del cual se puede construir el seguimiento.

Se trata de una referencia cuantitativa con la cual se compara el nivel de consumo y la eficiencia de los usos de la energía de proceso, o una organización. Constituye un conjunto de datos que, al ser normalizados con respecto a las variables relevantes, proporciona una proyección en el tiempo futuro de los consumos energéticos.

Un sistema de gestión energético tiene la posibilidad de tener más de una línea de base energética, debido a que es posible confeccionarlas considerando los datos vinculados a distintos procesos unitarios que conforman un proceso mayor. Del mismo modo que en la definición de los criterios para definir los usos y consumos significativos, no es preciso definir un único procedimiento para establecer la línea de base de los procesos en general, debido a que su confección responderá a distintos niveles de complejidad y niveles de la organización.

Para el caso de una línea de base energética simple, se considera como referencia el seguimiento de consumo mensual comparado contra el mismo periodo del año anterior y una tendencia anualizada. En tanto, una línea de base energética compleja considera el uso por unidad de salida (producto) y el consumo de energía específico (CEE). Existen

también modelos estadísticos normalizados que utilizan coeficientes que afectan a la producción y al consumo para obtener la recta de regresión que representa la línea de base en distintos períodos de tiempo (Flores, L., & Jáuregui, I, 2020)

Al momento de establecer la primera línea de base energética, la información puede obtenerse mediante el procesamiento de los datos de consumo de un periodo anterior, o bien el promedio de varios periodos. También es apropiado establecer una relación matemática que contenga el consumo o eficiencia energética en función de las variables relevantes identificadas. Resulta fundamental tener en cuenta que, cuando existen variables que afectan de manera significativa el desempeño energético, se debe acudir a la normalización de los valores de las líneas de base energéticas con el propósito de hacer comparaciones que sean confiables bajo condiciones equivalentes. La normalización permite la modelación de los datos de consumo de energía con respecto a las variables relevantes identificadas mediante el uso de métodos estadísticos como la regresión lineal. En este contexto, se considera a la energía como la variable dependiente de una o más variables independientes. La recta de regresión se define de la siguiente manera:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

Donde:

Y es la variable dependiente, es decir, el consumo de energía registrado en un período determinado, o bien, un valor de eficiencia energética también asociado al período correspondiente.

$X_i$  ( $n=1,2,3\dots$ ) corresponde a las variables relevantes que se consideran independientes. Dichas variables provienen del inventario de variables relevantes desarrollado en la etapa de revisión energética, por lo que son valores cuantitativos.

$B_i$  ( $i=0,1,2,3,4, n$ ) corresponde a los coeficientes de cada variable relevante.

$B_0$  corresponde a un coeficiente fijo que no está relacionado con las variables independientes

La línea de base energética es central al momento de definir los indicadores de desempeño energético. Posteriormente a su primera definición, la LBE<sub>n</sub> se revisa únicamente cuando los indicadores ya no reflejen el desempeño energético, o bien, si se produce algún tipo de cambio en los factores estáticos. También resulta interesante

destacar que para cada uso y consumo significativo se debería realizar el cálculo de línea de base energética, con el objetivo de que el monitoreo de la eficiencia energética se pueda realizar de manera específica.

Existen orientaciones vinculadas al cálculo de línea de base energética para garantizar que la misma sea fiable. El estándar ISO 50006:2017, con carácter de recomendación, ofrece una guía para la determinación y actualización de la línea de base energética, y consecuentemente, de los indicadores de eficiencia energética (Ver figura 19). Por otro lado, la Efficiency Valuation Organization (2002) ha desarrollado el Protocolo Internacional de Medida y Verificación. Dicho protocolo tiene por objetivo operar como una guía para describir las prácticas habituales vinculadas a la medición, el cálculo y la elaboración de informes de ahorros de energía derivados de proyectos de eficiencia energética.

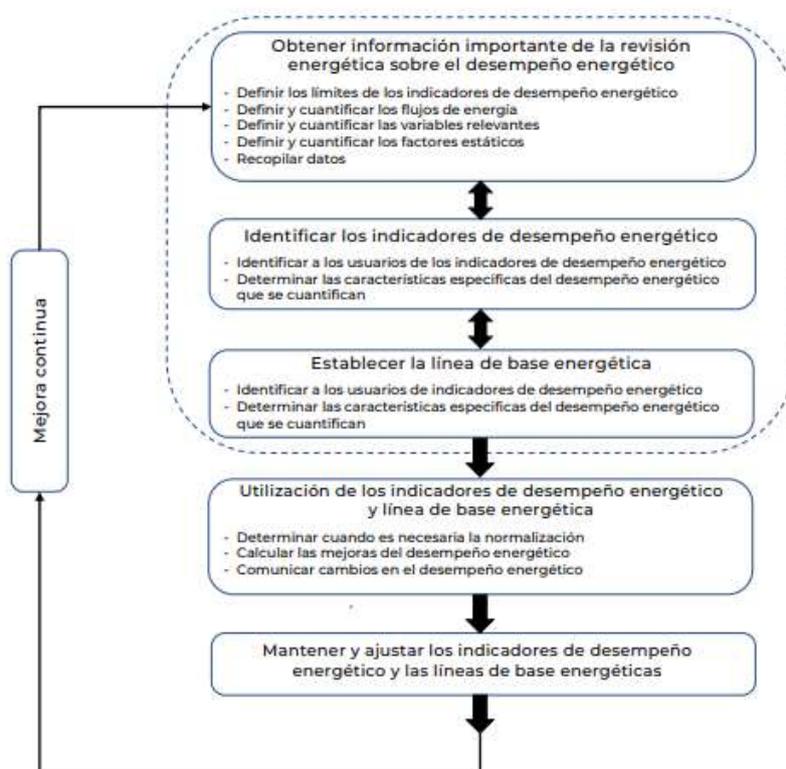


Figura 19: Mejora continua basada en la revisión energética. Fuente: ISO 50006:2017

El estándar ISO 14064, cuya temática es “Gases de efecto invernadero”, proporciona información y orientaciones para determinar las líneas de base dentro de su campo de aplicación. En este sentido, se sugiere un procedimiento conceptualmente similar al llevado a cabo para determinar la línea de base energética, y debido a que

existen una serie de datos tomados en cuenta que son empleados tanto en un cálculo como en otro, las organizaciones que adoptan los requisitos del estándar tienen la ventaja de contar con una base sólida como punto de partida para evaluar su perfil energético y de consumo.

Una vez que la línea de base energética se define por primera vez, se puede considerar que el comportamiento de los indicadores de eficiencia energética durante un tiempo determinado la representan. Los modelos matemáticos de regresión lineal no tienen que ser aceptados o rechazados basándose únicamente en el valor  $R^2$ . Esto se debe a que es preciso considerar otros elementos asociados a los errores estándar y estadísticos y la probabilidad, por lo que, si bien la herramienta es pertinente, es deseable que el monitoreo de la línea de base energética incluya la observación de la evolución de los indicadores asociados.

La definición de la línea de base energética, así como también el proceso de revisión energética, requieren de la precisión de los datos que utilizan como insumo. No solo es relevante que la recopilación inicial esté planificada y sea confiable, sino que también es requerido que los datos se mantengan actualizados de manera sistemática. El nivel de profundidad con el que se lleva a cabo la recopilación de datos energéticos se vincula con la capacidad tecnológica de la organización o el proceso para medir o estimar el consumo de los usos de la energía. Si no se cuenta con medición directa del consumo energético de equipos o instalaciones, es posible estimarlo con base en información de diseño y de operación.

Según lo expuesto por Castrillón Mendoza et al (2015), existen magnitudes que puede tomar el coeficiente  $R^2$  que brindan información acerca de la correlación de los datos tomados en cuenta en los datos de manera sencilla:

- $R^2 \geq 0,75$  indica una relación adecuada
- $R^2 < 0,75$  indican una correlación débil entre los parámetros representados en el diagrama de dispersión, y, por tanto, el índice de consumo formado por el cociente entre la energía y la producción no refleja adecuadamente la relación existente entre las variables consumo energético y la actividad productiva de la entidad.

En este sentido, indican, las causas más frecuentes de la baja correlación entre el consumo energético y la producción están dadas en:

- Existen errores en la medición o en su procesamiento.
- No existen manuales de buenas prácticas o se incumple lo establecido en ellos.
- La producción (P) y el consumo de energía eléctrica (E) son medidos en diferentes períodos.
- El término producción (P) no ha sido adecuadamente establecido. Existe producción en proceso que ha consumido energía y esta no ha sido considerada.
- La estructura de producción incluye productos con diferentes requerimientos energéticos.
- Existen factores que influyen sobre el consumo de energía y no han sido considerados.
- En el proceso productivo o de servicios se incluyen actividades que consumen energía y no se reflejan en la producción o servicios incluidos en el índice

Lo que resulta interesante del análisis presentado es que existen casos en los que la relación se mantiene igualmente débil, es decir, con un valor  $R^2 < 0.75$ , aun habiendo descartado las causas mencionadas. En tal caso, es posible aplicar el criterio de considerar una producción equivalente. “El criterio de la producción equivalente se basa en incorporar al parámetro que caracteriza la producción o el nivel de actividad de servicios, factores y actividades que tienen una influencia significativa sobre el consumo de energía y que no son normalmente considerados” (Castrillón Mendoza et al (2015)).

Según la evaluación realizada por Castrillón Mendoza et al (2015), quienes trabajaron en el desarrollo de la línea de base energética para el caso de la producción de crudo primario de cemento, mediante la técnica del coeficiente de relación. La conclusión del estudio fue que dicho coeficiente arroja una correlación baja.

La Línea de Base Energética de dicho proceso se estimó tomando como producto final el flujo correspondiente a los datos tomados de lecturas diarias de mediciones de pasta de cemento y consumo de energía eléctrica del proceso.

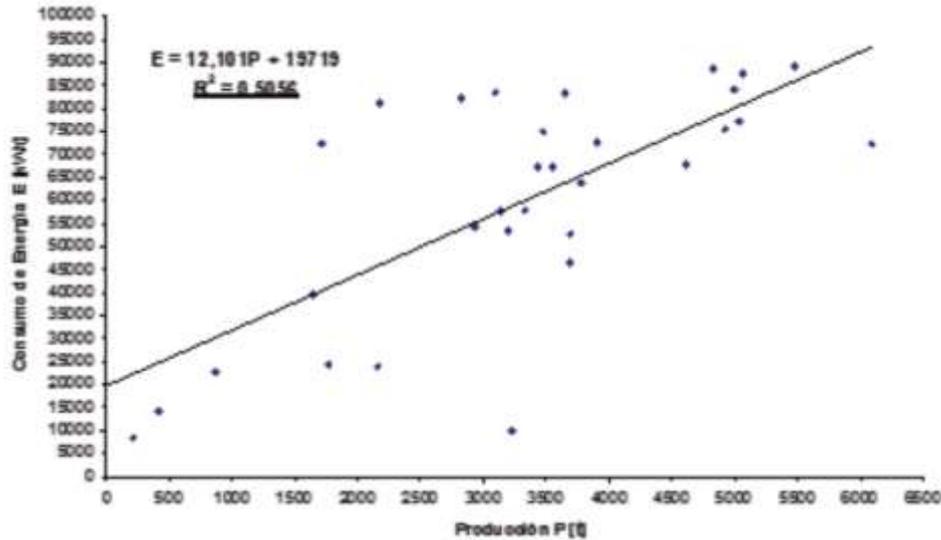


Figura 20. Correlación lineal entre fabricación pasta de cemento y consumo energético asociado.  
Fuente: Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos  
(Castrillón Mendoza et al (2015))

Tal como se ilustra en la figura 20, como resultado el coeficiente de correlación cuadrático entre el consumo de energía eléctrica y la producción fue bajo  $R^2$ , ya que tomó un valor de 0,5, y el indicador de consumo (kWh/t), no reflejó adecuadamente la eficiencia energética de este proceso.

En dicho análisis, se observa que el problema principal radica en que el esquema actual al momento del análisis no es constante, con lo cual se ha considerado como producción total el producto final correspondiente a la pasta bombeada, sin tener en cuenta el inventario de producto en las etapas intermedias del proceso.

Tomando en consideración la variación diaria en los inventarios de material en las diferentes etapas de producción y el consumo de energía eléctrica en cada una de las áreas y en el total del proceso, el estudio abordó un procedimiento matemático que toma en cuenta el potencial energético de estas producciones, para obtener un producto equivalente.

En función de los datos obtenidos se trazó nuevamente el gráfico de correlación de consumo de energía frente a la producción equivalente para el periodo de análisis y se obtuvo una correlación  $R^2=0,93$ , lo cual constituye una relación fuerte entre las variables.

Como conclusión, la nueva ecuación base estimada es adecuada para hacer seguimiento a la eficiencia energética del proceso y constituye la Línea de Base

Energética del proceso estudiado. Como se observa en la figura 21, la dispersión es menor con lo cual la correlación de las variables aumenta.

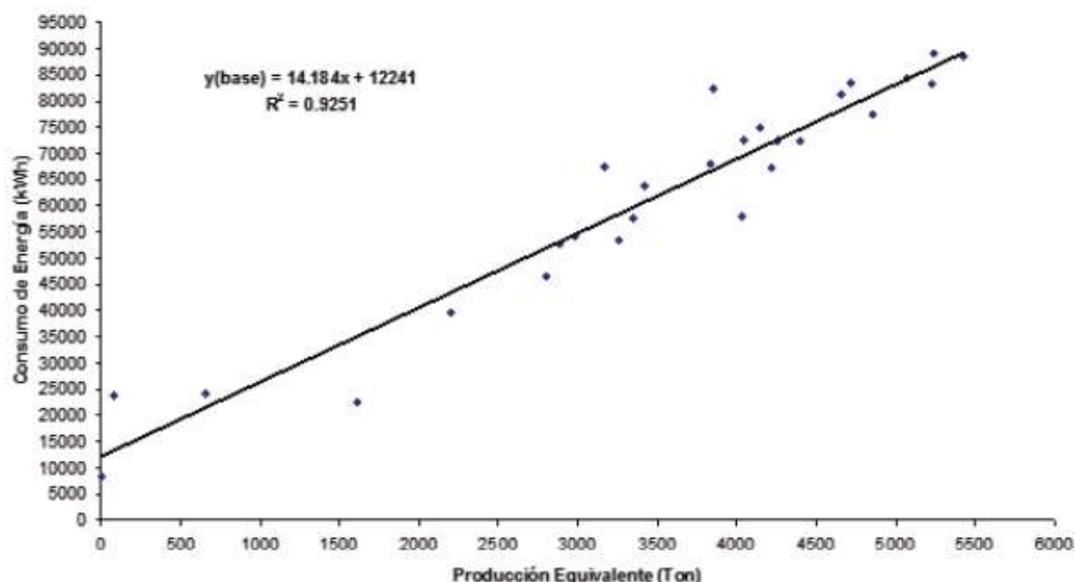


Figura 21. Línea de base de energía estimada para el proceso de crudo primario utilizando la producción equivalente. Fuente: Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos (Castrillón Mendoza et al (2015)

En este sentido, el ejemplo planteado intenta demostrar que existen variaciones a la clásica evaluación de la correlación presentada en primera instancia al trabajar el concepto de línea de base energética, el cual es abordado ampliamente en la bibliografía del tema, y colabora a esclarecer la relación que existe entre los datos que se toman en cuenta para realizar el análisis. Los autores recomiendan el uso de la metodología de producción equivalente para procesos que poseen cierta complejidad productiva.

Es importante destacar, en lo que concierne al presente trabajo de estudio, que el estándar internacional indica los requisitos que deben adoptarse en un proceso de gestión energética, al igual que otros estándares de sistemas de gestión, no ofrece un método para llevar adelante cada etapa de la revisión energética.

En este sentido, se detecta la oportunidad de proponer los métodos y procedimientos tácticos y estratégicos que permitan desarrollar un sistema de gestión energético para el proceso de fabricación de vidrio plano, de características electrointensivas, operación continua y constitución compleja, para el cual el aseguramiento de flujos de energía de manera constante es central para garantizar no solo la competitividad, sino además la continuidad del negocio.

## **CAPÍTULO 6 – DESARROLLO DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICO**

### **6.1 Descripción técnica y caracterización del proceso de producción de vidrio plano**

Durante el desarrollo del apartado 4.3 del presente trabajo se presentaron las características generales del proceso de fabricación de vidrio plano, y se vincularon dichas particularidades con la operación de la empresa VASA, dado que es la única organización en Argentina que realiza esta actividad.

En el presente apartado, el objetivo es desarrollar las características operativas y de gestión que caracterizan a los procesos de VASA, para poder, posteriormente, vincular una guía de herramientas que sean aplicables para el desarrollo de un sistema de gestión de energía, siguiendo los lineamientos del estándar ISO 50.001:2018.

Cabe destacar nuevamente que el consumo promedio de energía eléctrica debido a las operaciones de VASA durante el año 2019 fue de 52.191.000 KWH, mientras que el consumo de gas natural en el mismo período promedió los 49.132.000 M3, y el de agua en 1.290.000 M3. Este perfil de consumo es el resultado de la operación de dos hornos de fabricación de vidrio, cuatro líneas de procesamiento, dos almacenes de producto terminado y otras áreas de servicio y apoyo (entre las que podemos destacar mantenimiento, control de calidad y otros procesos administrativos que, aunque en menor medida, tienen impacto en el consumo).

La figura 22 ilustra la definición de procesos de VASA y sus interrelaciones, a fines de mostrar la conformación del sistema que será detallado en el presente apartado.

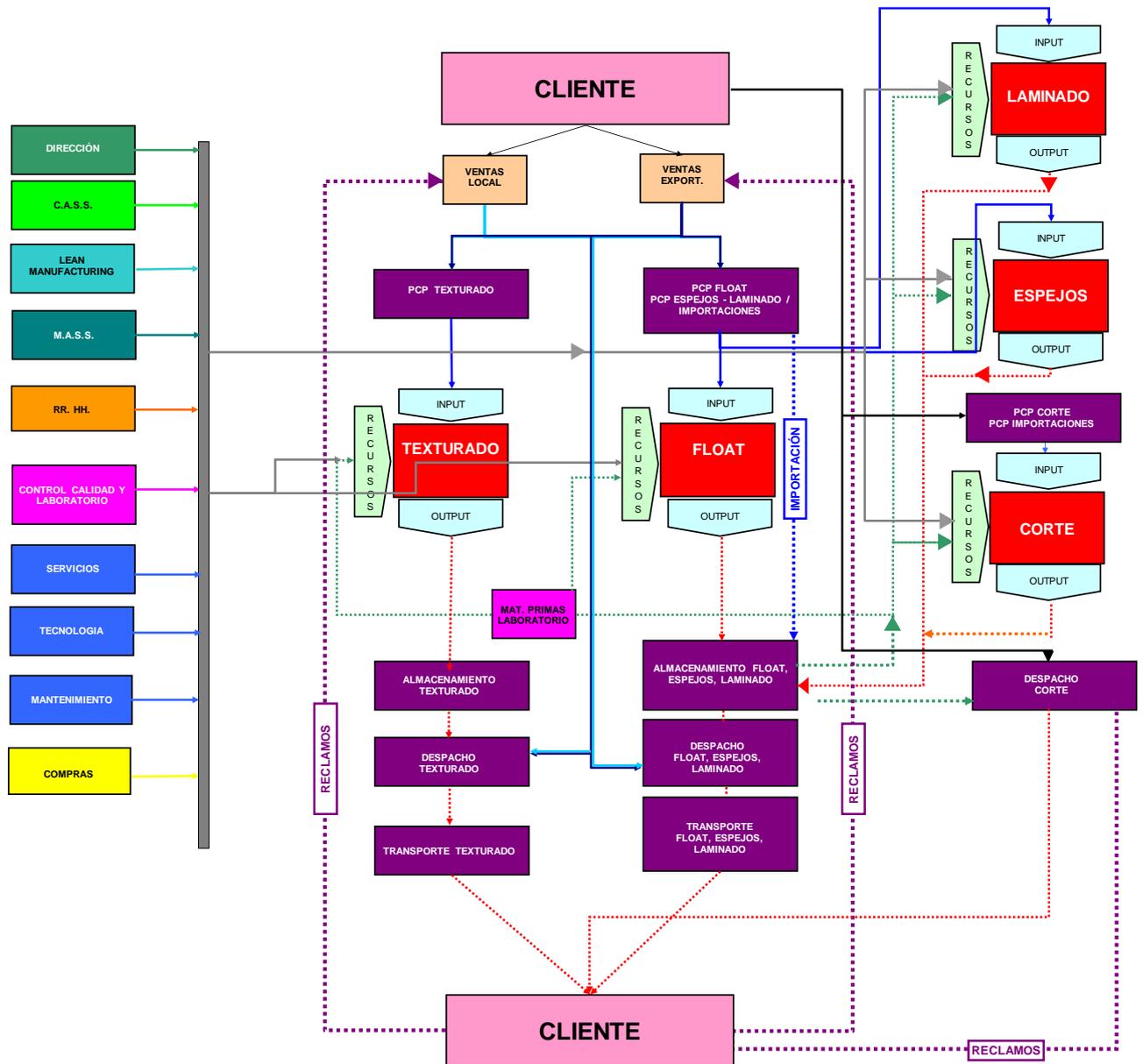


Figura 22 – Mapa de procesos de operación de VASA. Fuente: Elaboración propia.

La organización posee una estructura compleja dada la particularidad de su proceso, que requiere de personal técnico y especializado. Este dato no es menor considerando el grado de complejidad que, para algunos requisitos, presenta la implementación de una norma de gestión energética.

Por otro lado, cabe destacar que la organización se encuentra certificada en las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018. El alcance de las certificaciones mencionadas comprende la fabricación y comercialización de vidrio plano float, incoloro y color; vidrio impreso texturado, incoloro, color, armado y Profilit vidrio

auto portante; vidrio laminado, incoloro, color y esmerilado; espejo incoloro, color y vidrio pintado Coverglass; y vidrio cortado automotriz.

El sistema de gestión integrado de la organización posee, a la actualidad, 20 años de desarrollo, evidenciados en el número de Certificado de registro de ISO 9001: 9000-019 (correspondiendo estos últimos tres números al orden de certificación de las organizaciones respecto al estándar). Este aspecto representa un punto muy relevante a la hora de plantear una propuesta de implementación de nuevos estándares, puesto que los manuales de gestión, los procesos de revisión e integración y desarrollo de planes cuentan con un ejercicio continuo de años que apoya cualquier tipo de estructura normativa con interés de aplicar. Finalmente, en relación con los estándares cabe destacar que la estructura de ISO 50001:2018 se encuentra alineada con la estructura de alto nivel adoptada por los estándares ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001 en las versiones que la organización ha certificado. Esto supone que los requisitos comunes de aplicación, entre los que se pueden destacar los capítulos 4, 5 y 7 de los estándares mencionados, cuentan con una gran ventaja si se aplica la norma de gestión de energía considerando que existen recursos de gestión dedicados y que, como parte del plan de aplicación, se debería ampliar el desarrollo actual en perspectiva de la cuestión energética.

En términos de consumo energético, durante la investigación se procede a relevar la información con la que cuenta la organización, con el objetivo de entender cuáles son los datos técnicos disponibles y con qué nivel de desagregación. Este punto resulta importante considerando que la aplicación de herramientas de elevada complejidad requiere, en numerosos casos, la disponibilidad de datos específicos de consumo.

Por su parte, y en términos de recursos técnicos o tecnológicos, es interesante también relevar los equipos o sistemas que tienen la capacidad de realizar mediciones, lo cual se halla estrechamente relacionado con la disponibilidad de datos de consumo.

El relevamiento se segrega en dos etapas: consumo y mediciones relativas a los hornos, y consumo y mediciones relativas a las líneas de proceso. En este sentido, y comenzando por la etapa “Hornos”, se pueden obtener las referencias de consumo expresadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Consumos energéticos de hornos en el año 2019.

Área	Electricidad (KWh/año)	Gas (M3/año)	Agua (M3/año)	Aire comprimido (M3/año)
Plantas de mezcla	807838	NA	NA	SD
Hornos	37190857	41522663	SD	SD
Almacenes	3352362	2737576	SD	SD
Servicios	4783090	860975	SD	SD
Oficinas administrativas	1285838	423871	SD	SD
General	47419986	45545084	1161276	33175957

Fuente: Elaboración propia en función de Revisión Energética de VASA – Año 2019.

Se observa que en el período analizado las mediciones de consumo eléctrico y gas natural resultan bastante precisas en torno a las distintas etapas que conforman al proceso, mientras que el consumo de agua y de aire comprimido se desconoce en los niveles de desagregación por etapas, aunque se obtiene el consumo total de dichas fuentes para ambos procesos.

Como se menciona anteriormente, la organización cuenta con dos hornos productivos. El siguiente paso es analizar si los consumos se encuentran detallados por etapas para cada horno en particular.

En esta etapa del análisis se observa que, si bien para las etapas de planta de mezcla, almacén, servicios y oficinas administrativas para ambos hornos se cuenta con lecturas individuales, en el caso del horno de vidrio flotado, de mayor capacidad y tecnología, se cuenta con mediciones de seis subetapas que conforman la etapa “horno”. En términos de fuentes de medición, se relevan los puntos detallados en la tabla 4.

Tabla 4: Medidores de consumo de hornos segregados por fuente.

Medidores eléctricos			Medidores de gas	Horómetros Compresores	Medidores de Pozos
Slumberger 1 Float	Celda CCCW Agua Float	Linea B-24 Texturado	Texturado	SULLAIR 1	POZO 3
Slumberger 2 Texturado	Celda VV3-F Float	Linea B-29 Texturado	Float	SULLAIR 2	POZO 6
Entrada Celdas 1 Float	Celda pocket Boosting Float	Linea B-31 Texturado	CONSUMO POR BYPASS	ATLAS COPCO 2	POZO 7
Entrada Celdas 2 Texturado	Celda main boosting Float	Linea A-6 Float	Metrogas Mercury	ATLAS COPCO 3 transf	POZO 8
Entrada Usina T1 Float	Linea B-1 Float	Linea A-7 Float			POZO 10
Entrada Usina T2 Texturado	Linea B-2 Float	Linea A-12 Float			POZO 11

## Diseño de un sistema de gestión de energía

Celda MFBII Float	Línea B-3 Float	Línea A-20 Texturado			AGUAS ARGENTINAS
Grupo 11 Float	Línea B-4 Float	Línea A-25 Texturado			
Grupo 12 Float	Línea B-5 Float	Línea A-28 Texturado			
Grupo 13 Float	Línea B-8 Float	Compresores (COMP)			
Grupo 14 Float	Línea B-11 Float	Bombas de agua (BA)			
Celda Gases Float	Línea B-13 Texturado	Mezcla Float (MF) Float			
Celda Horno Float Float	Línea B-16 Texturado	Arquitectura (ARQ)			
Celda Baño 2 Float	Línea B-17 Texturado	Línea 9 y 10 (L9/10)			
Celda Baño 1 Float	Línea B-18 Texturado	Sever AS400 (AS400)			
Celda Lehr 2 Float	Línea B-22 Texturado	Almacén general (AG)			
Celda Lehr 1 Float	Línea B-23 Texturado	Pozo 7 (P7)			

Fuente: Elaboración propia en función de revisión energética de VASA – Año 2019

Se puede observar que la fortaleza de la medición se centra en el aspecto eléctrico, principalmente destacado en el proceso Float. Esto se explica a partir de que el horno de vidrio flotado posee mayor desarrollo tecnológico lo cual incluye sistemas en línea que permiten monitorear el proceso de manera continua. Esencialmente esta característica se debe a la naturaleza del proceso que requiere tener un control detallado de la temperatura y corrientes internas en distintos puntos del sistema, sin embargo, este aspecto puede ser aprovechado para tomar información del consumo y desempeño energético. Por otro lado, para los hornos el monitoreo energético detallado es fundamental porque los hornos no pueden apagarse dado que su estructura se puede ver seriamente afectada.

Por su parte, para la etapa “Líneas de proceso” se relevan los datos de consumo que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Consumos energéticos de procesados en el año 2019.

Área	Electricidad (KWh/año)	Gas (M3/año)	Agua (M3/año)	Aire comprimido (M3/año)
Laminado 1	3094923	11774	38644	1510750
Laminado 2	2148290	371774	324	SD
Espejos	3284416	238774	89738	SD
Corte automotriz	650739	11774	324	SD

Fuente: Elaboración propia en función de revisión energética de VASA – Año 2019

Para el caso de procesados la situación observada difiere respecto a la de hornos dado que los procesos no cuentan con sistemas automáticos de medición en línea. El

proceso que se encuentra más favorecido en términos de medición es laminado estándar, debido a que se localiza físicamente en el mismo edificio del horno flotado, por lo que los medidores se encuentran segregados. Esto le permite a la línea contar con el beneficio de conocer cuánto de su consumo eléctrico se destina a la propia operación, a la operación de las funciones de servicio y al edificio administrativo, así como también el consumo de aire comprimido.

Por otro lado, las líneas de laminado, espejos y corte automotriz se encuentran físicamente en otro edificio destinado a la realización de sus operaciones y de almacén y despacho. Para el caso de los procesos mencionados, si bien requieren del suministro confiable de energía para poder operar, la medición del consumo en diferentes puntos de operación no es determinante para garantizar la calidad del proceso, a diferencia de los hornos.

Los medidores de servicios de gas y agua se encuentran en una línea de entrada a los procesos en general, sin tener niveles intermedios de desagregación, con lo cual los consumos contabilizados corresponden a una proporción estimada respecto a la lectura global. En este sentido, se muestra en la tabla 6 los puntos de medición para las fuentes mencionadas anteriormente.

Tabla 6. Medidores de consumo de procesados segregados por fuente.

<b>MEDIDORES ELECTRICOS</b>	<b>MEDIDORES GAS</b>
Grupo Almacén	Almacén
Grupo Espejos	Espejo
Laminado (LAM)1	
Iluminación Laminado (IL)	
Almacén	
Espejo (ESP)	
Autoclave Laminado 1 (AL1)	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que para los procesos secundarios no existen puntos de medición detallados, excepto para el caso de la línea de laminado estándar y espejos. Los consumos de las líneas laminado jumbo y corte automotriz presentados en la tabla 10 corresponden a estimaciones realizadas en función de las características del consumo de los equipos.

La mencionada estimación de consumos se realiza en función del relevamiento de los equipos de los procesos, lo cual permite vincular la lectura general de las mediciones con las características de consumo del conjunto analizado. Por otro lado, aun en los procesos con mediciones más detalladas como es el caso de los hornos, este relevamiento puede significar el punto de partida para la identificación de usos y consumos significativos. Las tablas 7 y 8 resumen el proceso de relevamiento que soporta y amplía los valores presentados en las tablas 3 y 4.

Tabla 7. Estimación de consumo eléctrico segregado por equipos de proceso.

Proceso	Finalidad	(kW) nominal de placa	Horas por año	Rendimiento del motor (placa o catálogo)	% de la carga nominal	Cantidad de motores	Potencia real (kW)	¿Cómo se hicieron las estimaciones?	Clasificación
Horno Float	Transporte de producto	1,50	8784	86%	0,81	170,00	195,39	Lectura del medidor de horas de funcionamiento, estimación de la velocidad, estimación del % nominal	Motores
	Refrigeración de proceso	25,00	8784	86%	0,69	12,00	312,86		Refrigeración
	Mando de línea	40,00	8784	86%	0,84	2	63,29		Refrigeración
	Puentes grúa	20,00	8784	86%	0,69	3	48,13		Refrigeración
	Aire acondicionado	5,00	8784	86%	0,69	6,00	24,07		Refrigeración
	Aire de combustión	20,00	8784	86%	0,69	10	160,44		Calor De Proceso
	Transporte de materia prima	10,00	8784	86%	0,69	16	128,35		Motores
	Mezcla de materia prima	60,00	8784	86%	0,84	1	47,47		Motores
	Elevadores de materia prima	20,00	8784	86%	0,69	5	80,22		Motores
Horno texturado	Transporte de producto	1,50	8784	86%	0,25	25	8,83	Lectura del medidor de horas de funcionamiento, estimación de la velocidad, estimación del % nominal	Motores
	Refrigeración de proceso	5,00	8784	86%	0,21	46	85,84		Refrigeración
	Mando de línea	6,00	8784	86%	0,42	2	4,75		Refrigeración
	Puentes grúa	6,00	8784	86%	0,34	2	4,81		Refrigeración

## Diseño de un sistema de gestión de energía

	Máquinas laminadoras	10,00	8784	86%	0,17	5	8,01		Refrigeración
	Aire acondicionado	5,00	8784	86%	0,34	3	6,02		Refrigeración
	Aire de combustión	10,00	8784	86%	0,34	2	8,02		Calor De Proceso
	Transporte de materia prima	5,00	8784	86%	0,21	14	12,84		Motores
	Mezcla de materia prima	37,00	8784	86%	0,08	6	10,39		Motores
	Elevadores de materia prima	20,00	8784	86%	0,07	5	8,02		Motores
Espejos	Transporte y corte	40,00	7224	86%	0,52	3	58,77	Lectura del medidor de horas de funcionamiento, estimación de la velocidad, estimación del % nominal	Motores
	Refrigeración	5,00	7224	86%	0,69	20	80,00		Refrigeración
	Ventiladores	6,00	7224	86%	0,69	3	14,40		Refrigeración
	Extracción	40,00	7224	86%	0,86	1	40,00		Refrigeración
	Aire comprimido	40,00	7224	86%	0,69	1	32,00		Refrigeración
	Tratamiento de aguas	5,00	7224	86%	0,43	10	25,00		Refrigeración
Laminado 2	Transporte y corte	3,00	7224	86%	0,73	40	82,51	Lectura del medidor de horas de funcionamiento, estimación de la velocidad, estimación del % nominal	Refrigeración
	Aire comprimido	40,00	7224	86%	0,60	1	28,00		Refrigeración
	Ventiladores	40,00	7224	86%	0,69	1	32,00		Refrigeración
	Enfriamiento autoclave	5,00	7224	86%	0,84	2	7,91		Refrigeración
	Refrigeración autoclave	4,00	7224	86%	0,69	6	19,20		Refrigeración
	Bombas fluido térmico	20,00	7224	86%	0,43	1	10,00		Calor De Proceso
	Caldera fluido térmico	30,00	7224	86%	0,43	1	15,00		Calor De Proceso
Laminado 1	Transporte y corte	3,00	7224	86%	0,73	40	82,51	Lectura del medidor de horas de funcionamiento, estimación de la velocidad, estimación del % nominal	Motores
	Aire comprimido	160,00	7224	86%	0,43	1	80,00		Aire Comprimido
	Ventiladores	40,00	7224	86%	0,52	1	19,59		Motores
	Enfriamiento autoclave	5,00	7224	86%	0,52	2	4,90		Refrigeración
	Refrigeración autoclave	4,00	7224	86%	0,43	2	4,00		Refrigeración

Fuente: Elaboración propia en función de revisión energética de VASA – Año 2019

Tabla 8. Estimación de consumo de gas natural segregado por proceso.

Finalidad	Cantidad de combustible anual o kWh/año	Miles de kcal/año o kWh/año	¿Cómo se hizo la estimación?	Clasificación
Quemadores Horno Float	1945728	18.095.270	Lectura del medidor de horas de funcionamiento, estimación de la velocidad, estimación del % nominal	Calentamiento De Proceso
Caldera grande	1137024	10.574.323		
Caldera chica	60480	562.464		
Laboratorio	16762	155.883		
Almacén	868735	8.079.233		
Fluido térmico almacén	4190400	38.970.720		
Planta de gases	649728	6.042.470		
General Horno Texturado	4060800	37.765.440		
General Horno Float	34128000	317.390.400		

Fuente: Elaboración propia en función de revisión energética de VASA – Año 2019

En función del relevamiento se puede decir que:

- El mayor consumo energético se concentra en los hornos float y texturado, los cuales tienen mayores datos técnicos vinculados a los puntos de medición disponibles. La figura 23 resume el consumo presentado en las tablas 1 y 2 convertido a MMBTU (siendo la relación 1 KWH equivalente a 0,0034 MMBTU).

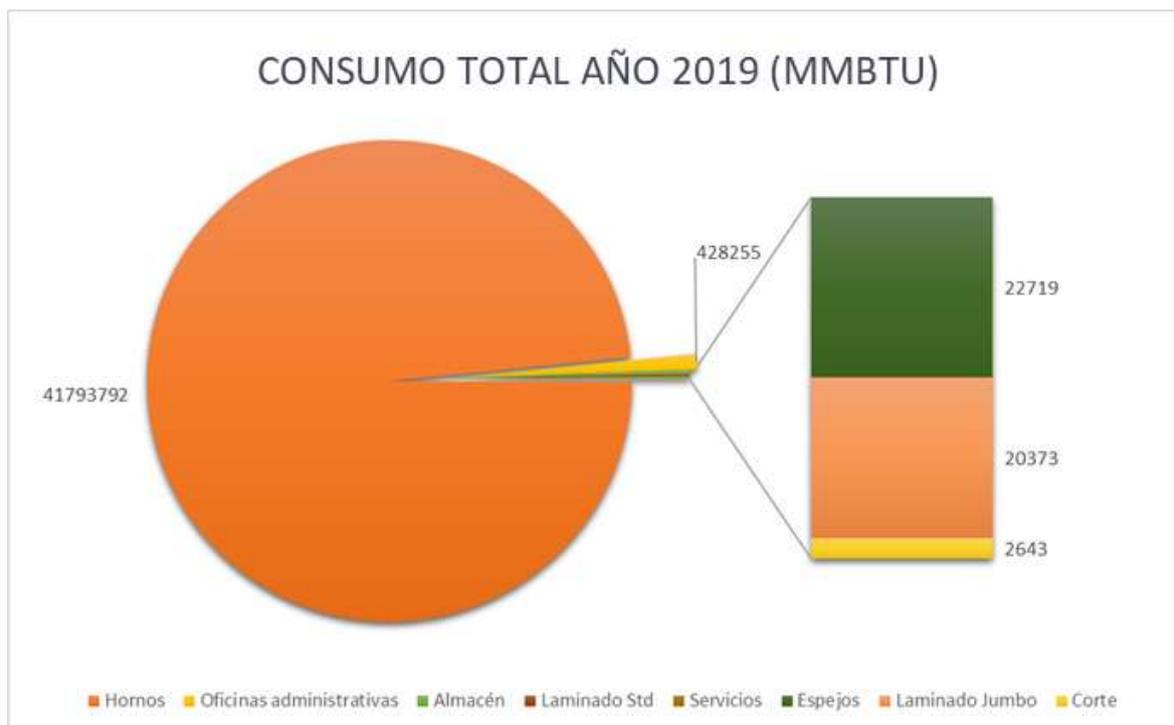


Figura 23. Consumo energético total de VASA en 2019 segregado por sectores distinguidos en tablas 8 y 10. Fuente: Elaboración propia.

- Los procesos secundarios poseen medidores de consumo generales que, en combinación con las estimaciones que tienen origen en la distinción de los equipos en uso, pueden otorgar una lectura aproximada del perfil de consumo. Sin embargo, estos datos no son del todo precisos para ser utilizados en análisis complejos, y pueden limitar la capacidad de la organización de gestionar sus usos y consumos significativos de manera global.
- Es posible vincular los consumos globales con las unidades de producción, sin embargo, particularmente en los procesos secundarios, al no poseer lecturas reales desagregadas por subetapas de los procesos o equipos específicos resulta complejo vincular el consumo con cada producto. En este sentido, se puede tener una estimación por unidad de producto en un período determinado, pero, considerando el mix de producción que incluye materiales y configuraciones de procesos diversos, al no tener una medición continua del desempeño de los equipos la estimación de consumo no puede ser particular. Este aspecto, además de complejizar la gestión de los usos y consumos como adición a lo mencionado en el punto anterior, también puede limitar el desarrollo de una línea de base detallada.

- Si bien, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, la organización presenta limitaciones para obtener datos técnicos confiables en la lectura de sus consumos energéticos, posee recursos humanos y técnicos que pueden compensar, para el caso de algunas herramientas, los esfuerzos requeridos en su aplicación.
- La implementación previa de ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001 proporciona una distintiva ventaja para la estructuración del sistema de energía, basándose en la estructura de alto nivel que los estándares, incluido ISO 50001, adoptan en su última versión publicada. En este sentido, las herramientas asociadas a requisitos comunes de los estándares tendrán mayor facilidad para ser desarrollados y aplicados considerando que cuentan con recursos de gestión dedicados y que constituyen una simple ampliación de las definiciones para el estado de implementación actual, abarcando la perspectiva energética.

## **6.2 Clasificación de las herramientas de gestión aplicables a los requisitos de ISO 50.001:2018**

Como se mencionó anteriormente, la elaboración de la guía de herramientas para la gestión de energía toma como base de referencia los requisitos especificados en la norma ISO 50001:2018.

En el apartado que corresponde a la introducción, la norma expone: “Esta Norma Internacional se aplica a las actividades bajo el control de la organización, incluyendo la complejidad del sistema, el grado de documentación y los recursos” (ISO 50001, 2018). En este sentido, la normativa no detalla las herramientas aplicables para el abordaje de los requisitos que expone, debido a que su garantía es la aplicabilidad de los conceptos a un amplio campo de actividades y procesos.

Por otro lado, en su apartado de introducción la norma adiciona: “Esta Norma Internacional está basada en los elementos comunes de las normas ISO de sistemas de gestión, asegurando un alto grado de compatibilidad principalmente con las normas ISO 9001 e ISO 14001” (ISO 50001, 2018). Tomando esta referencia, es preciso vincular los esfuerzos por desarrollar la gestión energética de las organizaciones con sus características de calidad, de tecnología, de naturaleza de los procesos y de información.

Resulta interesante destacar que, para otros campos de la gestión de las organizaciones, ISO ha desarrollado estándares de consulta para proponer técnicas o herramientas aplicables a sus ámbitos. Tal es el caso de la Norma ISO 31010 - Gestión de Riesgos: Técnicas de Evaluación de Riesgos, o bien, la serie ISO 14040/43 – Análisis de ciclo de vida. En el campo de la gestión energética, la familia de normas ISO 50000 incluye normas de orientación y principios generales que ponen foco en desarrollar la interpretación de los requisitos del estándar certificable, sin proporcionar métodos o técnicas que se vinculen a distintas actividades.

Dada la complejidad del desarrollo de los sistemas de gestión energética, sobre todo entendiendo que el concepto de mejora se basa en el cálculo de la eficiencia y optimización del consumo energético de manera periódica, se propone, a continuación, un esquema de herramientas aplicables a los distintos requisitos de ISO 50001 expuestos en el apartado 5.2.

Esta propuesta integra la combinación de herramientas de organización industrial con herramientas desarrolladas bajo los conceptos de lean manufacturing y mantenimiento y confiabilidad, como modo de integrar el sistema energético a los procesos del negocio, adaptándose a cada particularidad, o bien, grado de complejidad del proceso.

El concepto de mantenimiento y confiabilidad se introduce en las etapas de planificación y de ejecución de los planes de acción de los sistemas de gestión, como medio para determinar las estrategias de mantenimiento. Este abordaje, que se centra en el diseño de los planes preventivos y predictivos, tiene como resultado un impacto directo en la calidad de energía eléctrica y puede influir en los resultados de eficiencia energética de la organización.

En cuanto a lean manufacturing, la relación con la gestión de la energía resulta evidente partiendo de la base de que ambos conceptos tienen por objetivo identificar y reducir o eliminar desperdicios (en este caso energéticos). Es decir, la implementación de herramientas Lean en la gestión de las organizaciones, trascendiendo su vinculación natural con la mejora de la productividad de los procesos, también puede conducir a la mejora de los resultados del sistema de gestión de energía como resultado de la aplicación de sus métodos. Resulta sumamente provechosa la combinación del enfoque Lean con el abordaje estadístico en el análisis de procesos. En este sentido, la aplicación de la

estadística al estudio, por ejemplo, de corrientes o flujos de energía, puede otorgar información valiosa para el diseño de planes de mejora.

Por su parte, el concepto de organización industrial aporta al estudio y análisis de las interrelaciones entre los elementos del sistema que permiten optimizar su comportamiento. Este grupo de herramientas, ampliamente difundidas en el ámbito de la ingeniería industrial, tienen características cuantitativas y cualitativas aplicables a distintas etapas del proceso de análisis principalmente, aunque también aportan significativamente a la ejecución de los planes en la etapa operativa.

Retomando los conceptos del apartado 5.2 del presente trabajo, en el que se exponen los elementos del sistema de gestión de energía vinculados a los requisitos estratégicos, tácticos y operativos, se detalla en la figura 24 la estructura presentada por ISO 50001, sobre la cual se relacionarán las herramientas aplicables al abordaje.

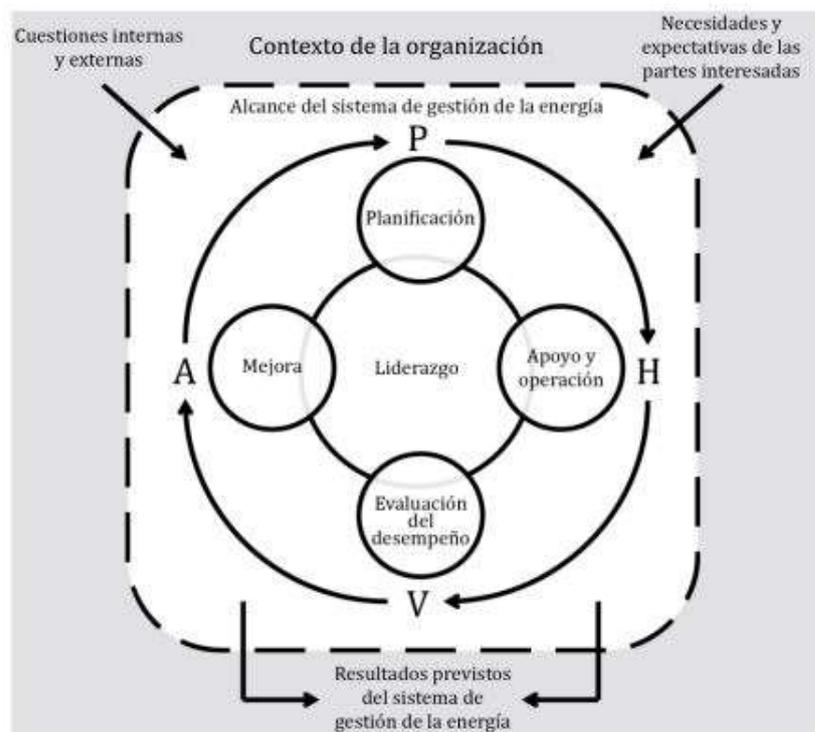


Figura 24. Modelo de gestión de energía para la norma ISO 50001. Fuente: ISO 50001, 2018

A continuación, en la tabla 9, se identifican y desarrollan las herramientas seleccionadas durante el proceso de investigación como aplicables a una o más etapas de la implementación y mantenimiento de un sistema de gestión, independientemente de la actividad o extensión de una organización.

En relación con la metodología, tal como se ha mencionado oportunamente en el trabajo, se toma como referencia el trabajo de Rojas-Rodríguez, D. y Prías-Caicedo, O. (2014) titulado “Herramientas Lean para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001”. En dicha publicación, los autores presentan una serie de herramientas que posteriormente se vinculan con los requisitos normativos del estándar, y definen su aplicabilidad de manera general. En este marco se destacan las herramientas: Lean Energy Analysis; Value Stream Mapping; Sustainable Manufacturing Mapping; Lean Energy Analysis; Green IT; Enterprise Energy Information System, y; Sistema global de gestión de la energía.

En el presente estudio, se procede a investigar acerca de metodologías que sea posible incluir en el análisis y que logren aplicar a la totalidad de los requisitos normativos. Además, se busca que abarquen distintos niveles de complejidad para garantizar su aplicación, independientemente del estado de gestión de la organización.

La selección de las herramientas complementarias se realiza a partir del análisis, en primera instancia, de herramientas de gestión aplicables a la gestión energética expuestas por ISO en ediciones correspondientes a recomendaciones para normas de procesos. En este sentido, se toman referencias de la norma ISO 31001:2015, a partir de la cual se detecta la potencialidad de las siguientes herramientas en el campo de organización industrial: Técnica estructurada "¿y si?"; Listas de verificación; Método Delphi; Matriz de riesgos; Análisis de causa raíz; Análisis de árbol de fallas, y; Análisis de causa y efecto. Esta categoría se complementa se complementa a partir de la quinta edición de la “Guía de fundamentos para la dirección de proyectos” Project Management Institute, Inc. (2013), a partir de la cual se relevan herramientas vinculadas al análisis estratégico y de poderes, definición de responsabilidades y definición de métricas.

Por su parte, la selección de herramientas asociadas a Lean Manufacturing proviene del análisis del libro de los autores Cruz, S., González, T., & Camisón, C. (2006): “Gestión de la Calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas”, cuyo desarrollo incluye conceptos completos de six sigma, diseño de experimentos, y diagramas de pareto y correlación. Se complementa la selección con la incorporación de los diagramas Sankey y las diferentes variantes de la línea de base energética desarrolladas en el marco teórico, y también se reconoce el análisis de ciclo de vida (ISO 14040:2008) como relevante en este campo.

Finalmente, las herramientas asociadas a mantenimiento y confiabilidad se definen en base a la disertación doctoral de Girón Matta (2019), acerca del empleo de herramientas de gestión ISO 50.001 para reducir fallas por mala calidad de energía.

Tabla 9 – Herramientas de organización industrial, lean manufacturing y mantenimiento y confiabilidad aplicables a los sistemas de gestión energética según ISO 50001:2018

Clasificación	Herramienta	Abreviatura	Descripción
<b>Organización Industrial</b>	Listas de verificación	CHECK	Lista con actividades de control o evaluación pre-definidas como método de definir el orden que se debe mantener en una rutina determinada, evitar la omisión de puntos de revisión, verificar condiciones y mantener evidencias documentadas.
	Análisis de factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos	PEST	Técnica para identificar los elementos que conforman el contexto en el cual se desarrolla la organización, independientemente de que no dependan de su gestión, siendo los factores: Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos.
	Análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas	FODA	Herramienta que permite identificar aspectos beneficiosos y adversos del contexto interno de la organización (fortalezas y debilidades) y del contexto externo (oportunidades y amenazas), con el objetivo de trazar líneas de acción para potenciar los efectos positivos y minimizar los negativos.
	Matriz de análisis de poderes	MAP	Herramienta que permite clasificar a las partes involucradas con la actividad de la organización según sus niveles de interés y poder sobre la misma, con el objetivo de priorizar aquellas partes interesadas con mayor relevancia para el desarrollo de planes de acción.
	Flujograma/Diagrama de flujo	FCHART	Diagrama que representa la secuencia de pasos y acciones que implican un proceso determinado utilizando símbolos que representan diversos tipos de actividades.
	Diagrama de procesos de negocio	DPN	Diagrama que representa, de manera simplificada, la interrelación de los procesos en sus distintos niveles, así como también las actividades involucradas, diagramando el flujo completo de un proceso de negocio.
	Matriz de responsabilidades	RACI	Herramienta para definir las responsabilidades de cada persona involucrada en los procesos o proyectos de la organización, pudiendo identificarse, en cada caso, los roles: Responsable (R), Analista (A), Consultado (C), e, Informado (I).
	Organigrama	ORG	Representación gráfica de la estructura jerárquica y funcional de una organización.
	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo	DOC	Documentación generada por la propia organización para establecer los estándares operativos, pudiendo la misma adoptar diferentes formatos para atender distintas necesidades, según sea: declaraciones, estándares o fichas técnicas.

## Diseño de un sistema de gestión de energía

	Indicadores físicos y de benchmarking	KPI	Indicador/es clave de desempeño que establecen una métrica para sintetizar el impacto de las acciones tomadas sobre diversos procesos o aspectos de la gestión organizacional.
	Técnica estructurada "¿y si?"	SWIFT	Método para identificar riesgos/peligros que exige el planteamiento de las posibles desviaciones desde el diseño, construcción, o modificaciones en la operación de una determinada instalación/conjunto de equipos.
	Método Delphi	DELPHI	Técnica que se basa en que un grupo de expertos aborden la discusión de un tema complejo, para obtener información y opiniones cualitativas y precisas acerca de una situación futura.
	Matriz de riesgos	RISK	Herramienta que permite, a partir de la identificación de componentes y recursos bajo amenaza en un proceso y ámbito determinado con una técnica previa, la ponderación bajo criterios predefinidos, con el objetivo de definir prioridades para el tratamiento del riesgo.
	Análisis de causa raíz	RCA	Conjunto de técnicas que tienen por objetivo encontrar la/s causa/s raíz/ces de un evento, con el objetivo de que al accionar sobre el problema se evite su recurrencia.
	Análisis de árbol de fallas	FTA	Herramienta que conecta un evento a otros eventos en un proceso descendente creando una estructura de árbol, con la premisa que el evento anterior siempre es la consecuencia del evento posterior, y éste, a su vez, es la causa raíz del evento.
	Análisis de causa y efecto	CEA	Herramienta que permite generar y clasificar ideas o hipótesis sobre las causas de un problema de manera gráfica, tomando como referencias las "4 M" (Mano de obra, máquina, material y método), o "6 M" (adicionando medio ambiente y medición).
<b>Lean manufacturing</b>	Diagrama de Pareto	PAR	Técnica que permite clasificar gráficamente la información de mayor a menor relevancia, basándose en la regla del 80-20 (el 80% de los problemas proviene del 20% de las causas).
	Diagrama de proveedores, entrada, proceso, salida y clientes	SIPOC	Diagrama que permite visualizar los pasos secuenciales de un proceso definiendo claramente sus entradas, salidas, proveedores y clientes, detallando la información del inicio y el final de cada proceso.
	Value Stream Mapping	VSM	Técnica gráfica que permite visualizar, analizar y mejorar el flujo de la producción (o flujos de interés, como puede ser el flujo energético), relacionando diferentes datos del proceso: tiempo de ciclo, de utilización, de valor agregado, lead time, inventario, número de personas y flujo de información.
	Diagrama de correlación	CORR	Herramienta gráfica que permite demostrar la relación existente entre dos tipos de datos y cuantificar la intensidad de dicha relación.
	Análisis del ciclo de vida completo	ACVC	Proceso que tiene como premisa desarrollar la contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida en las etapas de extracción y procesamiento de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; y reciclado y disposición del residuo. Este recurso cuantifica detalladamente las entradas y salidas a partir del desarrollo de un inventario de ciclo de vida.

## Diseño de un sistema de gestión de energía

	Análisis de ciclo de vida simplificado	ACVS	Proceso conceptualmente similar al ACVC, pero con el planteo de las entradas, salidas y vinculaciones a cada etapa del ciclo de vida del producto sin cuantificación, lo cual requiere menor disponibilidad de datos/información detallada.
	Sustainable Manufacturing Mapping	MPP	Técnica que combina las características de VSM, Simulación de eventos discretos y Análisis de ciclo de vida, como método para definir metas de sustentabilidad en la gestión de la organización.
	Lean Energy Analysis	LEA	Herramienta que basa el análisis de ahorros potenciales de energía en función de elaborar una línea de base que parte de una relación lineal entre la energía y la producción, considerando los consumos históricos de la organización.
	Six Sigma	SS	Método basado en datos que examina los procesos y variables repetitivas con el objetivo de alcanzar 3.4 defectos por millón de repeticiones, bajo el esquema DMAIC (Definir, medir, analizar, implementar y controlar).
	Diseño de experimentos	DOE	Técnica estadística que consiste en el diseño de una serie de experimentos que consisten en la alteración de la magnitud de determinadas variables, para obtener conclusiones que permitan optimizar la configuración de un proceso con un objetivo determinado.
	Green IT	GIT	Conjunto de buenas prácticas que tienen como objetivo usar de manera eficiente los recursos IT para minimizar el impacto ambiental de la actividad y reducir el consumo energético.
	Enterprise Energy Information System	EEIS	Técnicas y sistemas apuntadas al monitoreo del consumo energético.
	Sistema global de gestión de la energía	GEMS	Sistema implementado por EXXON que implementa variables en 5 niveles de la compañía, abarcando no solo la dimensión interna sino también el entorno.
	Línea de base energética simple	LBS	Representación del perfil de consumo energético a través del seguimiento de consumo mensual comparado contra el mismo periodo del año anterior y una tendencia anualizada
	Línea de base energética compleja	LBC	Representación del perfil de consumo energético a través de la consideración del uso por unidad de salida (producto) y el consumo de energía específico (CEE).
	Línea de base energética por modelo matemático estandarizado	LBM	Técnica de normalización de los datos de consumo energético de la organización a través de la modelación de los datos de consumo con respecto a las variables relevantes
	Sankey	SANKEY	Diagrama que muestra diversos flujos y sus cantidades en proporción entre sí, representando las magnitudes de cada uno, así como también su combinación o interrelación.
<b>Mantenimiento y confiabilidad</b>	Mantenimiento productivo total	TPM	Práctica de gestión que tiene en cuenta todos los aspectos del mantenimiento de los equipos, el comportamiento de las personas y el proceso de producción, para lograr y mantener la máxima eficacia de los equipos y las operaciones.
	Mantenimiento centrado en la fiabilidad	MCC	Proceso estructurado que revisa, de manera secuencial, siete aspectos del sistema o equipo bajo revisión: funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias de las fallas, tareas proactivas y acciones predeterminadas.

Fuente: Elaboración propia

A fines prácticos, en la tabla 10 se estructuran las herramientas mencionadas según sean aplicables a cada uno de los requisitos del estándar internacional.

Tabla 10: Vinculación de las herramientas con los requisitos del estándar ISO 50001:2018.

Requisitos ISO 50001:2018	Organización industrial	Lean Manufacturing	Mantenimiento y confiabilidad
<b>4. Contexto de la organización</b>			
4.1 Comprensión de la organización y su contexto	FODA; PEST		
4.2 Comprensión de necesidades y expectativas de las partes interesadas	FODA; PEST; MAP		
4.3 Determinación del alcance y los límites de la gestión de la energía	SIPOC; DOC		
4.4 Sistema de Gestión de la Energía	SIPOC ; FCHART; DPN	VSM	
<b>5 Liderazgo</b>			
5.1 Liderazgo y compromiso	ORG; RACI		
5.2 Política energética	DOC		
5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	ORG; RACI		
<b>6. Planificación</b>			
6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	SWIFT; DELPHI; RISK		
6.2 Objetivos energéticos, metas energéticas y planificación para lograrlos	KPI	PAR	
6.3 Revisión energética	FCHART; CHECK	MPP; VSM; SANKEY; SS; DOE; ACVC; ACVS	
6.4 Indicadores de desempeño energético	KPI; CHECK	GEMS	
6.5 Línea de base energética		LEA; LBS; LBC; LBM	TPM
6.6 Planificación para la recopilación de datos de la energía	CHECK	VSM; PAR	
<b>7 Apoyo</b>			
7.1 Recursos	FCHART; DPN		
7.2 Competencia	DOC		
7.3 Toma de conciencia	DOC		
7.4 Comunicación	DOC		
7.5 Información documentada	DOC		
<b>8 Operación</b>			
8.1 Planificación y control operacional	CHECK	SS	TPM; MCC
8.2 Diseño		DOE; CORR	

## Diseño de un sistema de gestión de energía

8.3 Adquisición		ACVC; ACVS	
<b>9 Evaluación del desempeño</b>			
9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGEN		GIT; EEIS; PAR	
9.2 Auditoría interna	CHECK; FCHART; DPN		
9.3 Revisión por la dirección	KPI	GEMS	
<b>10 Mejora</b>			
10.1 No conformidad y acción correctiva	RCA; FTA; CEA		
10.2 Mejora continua	KPI	GEMS	

Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de realizar una vinculación objetiva de las herramientas propuestas con las características del proceso de fabricación de vidrio plano, se procede a realizar una valoración de las herramientas presentadas en la tabla 2. Para ello, se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

- Disponibilidad de recursos: Criterio que se refiere al nivel de recursos que insume la herramienta. El objetivo aquí es distinguir entre aquellos recursos de nivel accesible (recurso humano), nivel medio (recurso técnico/sistema) o nivel complejo (recurso tecnológico).
- Complejidad técnica: Criterio que abarca la evaluación de qué tan compleja es la herramienta durante su aplicación y desarrollo, lo que puede conducir a que se emplee por personal no especializado, con conocimientos básicos/avanzados del proceso, o conocimientos teórico-técnicos avanzados.
- Requerimiento de datos técnicos: Criterio que considera el requerimiento de datos técnicos u operativos específicos para el correcto uso y aplicación de la lógica de análisis de la herramienta, entendiéndose como el no requerimiento de datos técnicos, el requerimiento de datos operativos, o bien el requerimiento de datos técnicos y precisos.
- Característica de seguimiento: Criterio que se refiere a la necesidad de realizar revisiones periódicas para el método/herramienta evaluada, como modo de mantener su resultado confiable. En este sentido, la verificación podría realizarse una única vez en un período determinado, tener verificaciones semestrales o trimestrales o bien, de seguimiento continuo.

De manera práctica, la ponderación se resume de acuerdo con lo expuesto en la tabla 11.

Tabla 11: Criterios para la valoración de herramientas aplicables a ISO 50001:2018.

Nivel Criterio	1	3	9
Disponibilidad de recursos	Requiere sólo de recursos humanos	Requiere uso de recurso técnico/sistema	Requiere uso de recurso tecnológico
Complejidad técnica	Puede aplicarse por personal no especializado	Puede realizarse por personal que, aunque no sea técnico, tiene conocimiento del proceso	Debe realizarse por expertos o personal con conocimientos teórico-técnicos avanzados
Requerimiento de datos técnicos	No requiere de datos técnicos	Puede requerir algunos datos operativos	Requiere datos técnicos y precisos
Característica de seguimiento	Requiere de una única instancia de realización.	Requiere de una revisión sistemática (trimestral/semestral)	Requiere seguimiento/actualización continua.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el procedimiento de selección propuesto, se realiza la valoración de las herramientas identificadas en el objeto de estudio y que han sido detalladas en la tabla 9, para proceder a vincularlas con las características del proceso en estudio que se caracteriza en el apartado 4.3., a través del método 9-3-1 de priorización. Para cada herramienta, se selecciona el nivel aplicable a cada criterio, según las características mencionadas en la tabla 11. Luego, para cada herramienta, se multiplican los niveles definidos obteniendo un “Número de complejidad de aplicación”. Dicho número, permite clasificarlas según sean de nivel de complejidad bajo, medio, alto o muy alto, según se detalla en la tabla 12.

Tabla 12: Criterios de valoración para la definición del nivel de complejidad.

	1	3	9	
1	1	9	81	1
3	9	81	729	3
9	81	729	6561	9
	1	3	9	

Fuente: Elaboración propia.

En función de las vinculaciones entre las posibles combinaciones de niveles, la determinación del nivel de complejidad se define de la siguiente manera:

- Valoración 1 a 9: Nivel de complejidad bajo
- Valoración 10 a 81: Nivel de complejidad medio
- Valoración 82 a 729: Nivel de complejidad alto
- Valoración 730 a 6561: Nivel de complejidad muy alto

Siguiendo el procedimiento de evaluación se procede a presentar, en la tabla 6, la valoración de los niveles para cada criterio de las herramientas seleccionadas y propuestas en la tabla 13.

Tabla 13: Valoración de los niveles para cada criterio de las herramientas seleccionadas.

Clasificación	Herramienta	Abreviatura	Criterios de clasificación				Número de complejidad de aplicación
			Disponibilidad de recursos	Complejidad técnica	Requerimiento de datos técnicos	Característica de seguimiento	
Organización Industrial	Listas de verificación	CHECK	1	1	1	9	9
	Análisis de factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos	PEST	1	3	1	1	3
	Análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas	FODA	1	3	3	1	9
	Matriz de análisis de poderes	MAP	1	3	3	1	9
	Flujograma/Diagrama de flujo	FCHART	1	3	3	1	9
	Diagrama de procesos de negocio	DPN	1	3	3	1	9
	Matriz de responsabilidades	RACI	1	3	3	3	27
	Organigrama	ORG	1	3	1	1	3
	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo	DOC	1	3	3	3	27
	Indicadores físicos y de benchmarking	KPI	1	3	3	9	81
	Técnica estructurada "¿y si?"	SWIFT	1	9	3	3	81
	Método Delphi	DELPHI	1	9	3	1	27
	Matriz de riesgos	RISK	1	9	3	3	81
	Análisis de causa raíz	RCA	1	3	3	1	9
	Análisis de árbol de fallas	FTA	1	9	3	1	27
	Análisis de causa y efecto	CEA	1	3	3	1	9
Lean manufacturing	Diagrama de pareto	PAR	1	3	3	1	9
	Diagrama de proveedores, entrada, proceso, salida y clientes	SIPOC	1	9	3	1	27
	Value Stream Mapping	VSM	1	9	9	3	243
	Diagrama de correlación	CORR	3	3	9	1	81
	Análisis del ciclo de vida completo	ACVC	3	9	9	3	729

## Diseño de un sistema de gestión de energía

	Análisis de ciclo de vida simplificado	ACVS	3	3	3	3	81
	Sustainable Manufacturing Mapping	MPP	3	9	9	1	243
	Lean Energy Analysis	LEA	1	9	3	3	81
	Six Sigma	SS	3	9	9	1	243
	Diseño de experimentos	DOE	3	9	9	1	243
	Green IT	GIT	3	3	9	3	243
	Enterprise Energy Information System	EEIS	1	3	3	9	81
	Sistema global de gestión de la energía	GEMS	3	9	9	3	729
	Línea de base energética simple	LBS	1	3	3	1	9
	Línea de base energética compleja	LBC	1	3	9	1	27
	Línea de base energética por modelo matemático estandarizado	LBM	3	3	9	1	81
	Sankey	SANKEY	3	9	9	1	243
<b>Mantenimiento y confiabilidad</b>	Mantenimiento productivo total	TPM	3	9	9	3	729
	Mantenimiento centrado en la fiabilidad	MCC	9	9	9	9	6561

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 Selección de las herramientas óptimas vinculadas a las características del proceso

Con el objetivo de desarrollar una guía de herramientas para que la empresa pueda aplicar a los requisitos de ISO 50001:2018, se propone un sistema de vinculación que consiste en trasladar los criterios de valoración utilizados para las herramientas a la evaluación de la capacidad de gestión de una organización. Dicho conjunto de valoración abarca cada requisito de la norma ISO 50001:2018 frente a las características de la organización para responder a cada punto normativo.

Retomando los criterios presentados en el apartado 6.2 para la valoración de las herramientas seleccionadas, se presenta a continuación la lógica para trasladar los mismos conceptos a la evaluación de la capacidad de la organización sobre los requisitos en los que se aplicarán las herramientas, según la relación presentada en la tabla 14:

- Disponibilidad de recursos: Criterio que se refiere al nivel de recursos con los que dispone la organización para responder al requisito normativo. El objetivo aquí es identificar si se cuenta con herramientas básicas como ser el recurso humano, con recursos técnicos o sistemas simples, o bien con recursos tecnológicos específicos aplicables al punto normativo.

- Personal especializado aplicado al requisito: Criterio que considera el nivel de especialización del personal abocado a cada requisito como modo de evaluar la capacidad de aplicar herramientas complejas. En este sentido, se consideran los niveles de personal no especializado, personal técnico o especializado en el proceso, o bien personal con conocimientos avanzados o expertos.
- Disponibilidad de datos técnicos: Criterio que considera la disponibilidad de datos técnicos u operativos específicos aplicables al requisito normativo, entendiéndose como la no disponibilidad de datos técnicos, la disponibilidad de datos operativos, o bien la disponibilidad de datos técnicos y precisos.
- Capacidad de seguimiento: Criterio que se refiere a la capacidad de las áreas o responsables vinculados al requisito a monitorear o actualizar los métodos empleados para su abordaje, a fines de vincular la necesidad de cada herramienta de mantener revisiones periódicas para asegurar resultados/lecturas confiables. En este sentido, la capacidad podría ser que se emplee el método una única vez en un período determinado, o bien que se realicen verificaciones semestrales o seguimiento continuo.

Los criterios descriptos se resumen de acuerdo con lo expuesto en la tabla 14.

Tabla 14: Criterios para la valoración de la gestión de la organización aplicable a los requisitos de ISO 50001:2018.

Nivel Criterio	1	3	9
Disponibilidad de recursos	Se cuenta sólo con recursos humanos e informáticos básicos	Se cuenta con recurso técnico/sistema	Se cuenta con recurso tecnológico
Personal especializado aplicado al requisito	Disponibilidad de personal no especializado (formación inferior a tecnicatura)	Disponibilidad de personal con formación técnica/específica, o bien con conocimientos avanzados sobre el proceso	Disponibilidad de expertos o personal con conocimientos teórico-técnicos avanzados
Disponibilidad de datos técnicos	Sin datos técnicos	Disponibilidad de datos operativos	Disponibilidad de datos técnicos y precisos
Capacidad de seguimiento	Imposibilidad de realizar seguimiento	Factibilidad de realizar seguimiento (trimestral/semestral)	Factibilidad de seguimiento/actualización continua.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el procedimiento de vinculación propuesto, se evalúa la capacidad de gestión de la organización asociada a cada requisito del estándar en función de los

criterios y niveles detallados en la tabla 14, a través del método 9-3-1 de priorización. Nuevamente, para cada requisito, se multiplican los niveles definidos obteniendo un “Número de caracterización del requisito”. Dicho número, permite caracterizar la capacidad de respuesta y gestión de la organización para cada punto normativo, según sea limitada, amplia, alta y muy alta, según se detalla en la tabla 15.

Tabla 15: Criterios de valoración para la caracterización del requisito en función de la capacidad de gestión.

	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>81</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>9</b>	<b>81</b>	<b>729</b>	<b>3</b>
<b>9</b>	<b>81</b>	<b>729</b>	<b>6561</b>	<b>9</b>
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En función de las vinculaciones entre las posibles combinaciones de niveles, la determinación del nivel de caracterización en función de la capacidad de gestión se define de la siguiente manera:

- Valoración 1 a 9: Capacidad de gestión limitada
- Valoración 10 a 81: Capacidad de gestión amplia
- Valoración 82 a 729: Capacidad de gestión alta
- Valoración 730 a 6561: Capacidad de gestión muy alta

Siguiendo el procedimiento de evaluación se procede a presentar, en la tabla 16, la valoración de los niveles para cada criterio de los requisitos normativos en función de las características de gestión de la empresa presentadas en el apartado 6.2.

Tabla 16: Valoración de los requisitos en función de la capacidad de gestión de VASA.

Requisitos ISO 50001:2018	Disponibilidad de recursos	Personal especializado aplicado al requisito	Disponibilidad de datos técnicos	Capacidad de seguimiento	Número de caracterización del requisito
<b>4. Contexto de la organización</b>					
4.1 Comprensión de la organización y su contexto	1	9	9	3	243
4.2 Comprensión de necesidades y expectativas de las partes interesadas	1	9	9	3	243
4.3 Determinación del alcance y los límites de la gestión de la energía	1	9	9	3	243
4.4 Sistema de Gestión de la Energía	1	9	9	3	243
<b>5 Liderazgo</b>					
5.1 Liderazgo y compromiso	1	3	3	3	27
5.2 Política energética	1	9	3	3	81
5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	1	9	3	3	81
<b>6. Planificación</b>					
6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	1	9	3	3	81
6.2 Objetivos energéticos, metas energéticas y planificación para lograrlos	3	3	3	3	81
6.3 Revisión energética	9	3	3	3	243
6.4 Indicadores de desempeño energético	3	3	3	3	81
6.5 Línea de base energética	3	3	3	3	81
6.6 Planificación para la recopilación de datos de la energía	3	3	3	3	81
<b>7 Apoyo</b>					
7.1 Recursos	1	3	3	3	27
7.2 Competencia	1	9	3	3	81
7.3 Toma de conciencia	1	3	3	3	27
7.4 Comunicación	1	3	3	3	27
7.5 Información documentada	3	3	3	3	81
<b>8 Operación</b>					
8.1 Planificación y control operacional	9	3	3	9	729

Diseño de un sistema de gestión de energía

8.2 Diseño	3	9	1	3	81
8.3 Adquisición	3	9	3	3	243
<b>9 Evaluación del desempeño</b>					
9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGen	3	3	3	3	81
9.2 Auditoría interna	1	3	3	3	27
9.3 Revisión por la dirección	1	9	3	3	81
<b>10 Mejora</b>					
10.1 No conformidad y acción correctiva	3	3	3	3	81
10.2 Mejora continua	3	3	3	3	81

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los resultados se vinculan con la valoración de las herramientas, según se presenta en la tabla 17. La propia interacción de los resultados de valoración de la capacidad de gestión para cada requisito y de las herramientas da, como resultado, una propuesta de técnicas y métodos aplicables para la organización en la implementación de un sistema de gestión de energía según ISO 50001:2018.

Tabla 17. Herramientas recomendadas para la implementación de un sistema de gestión de energía en VASA.

Requisitos ISO 50001:2018	Herramientas
<b>4. Contexto de la organización</b>	
4.1 Comprensión de la organización y su contexto	Análisis de factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos (PEST) Análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (FODA)
4.2 Comprensión de necesidades y expectativas de las partes interesadas	Análisis de factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos (PEST) Análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (FODA) Matriz de análisis de poderes (MAP)
4.3 Determinación del alcance y los límites de la gestión de la energía	Diagrama de proveedores, entrada, proceso, salida y clientes (SIPOC) Procedimientos/Instructivos/Plan operativo (DOC)
4.4 Sistema de Gestión de la Energía	Diagrama de proveedores, entrada, proceso, salida y clientes (SIPOC) Diagrama de flujo (FCHART) Diagrama de procesos de negocio (DPN)
<b>5 Liderazgo</b>	
5.1 Liderazgo y compromiso	Organigrama (ORG) Matriz de responsabilidades (RACI)
5.2 Política energética	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo (DOC)
5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	Organigrama (ORG) Matriz de responsabilidades (RACI)

<b>6. Planificación</b>	
6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	Técnica estructurada "¿y si?" (SWIFT) Método Delphi (DELPHI) Matriz de riesgos (RISK)
6.2 Objetivos energéticos, metas energéticas y planificación para lograrlos	Indicadores físicos y de benchmarking (KPI) Análisis de pareto (PAR)
6.3 Revisión energética	Diagrama de flujo (FCHART) Value Stream Mapping (VSM) Análisis de ciclo de vida simplificado (ACVS) Sustainable Manufacturing Mapping (MPP) Sankey (SANKEY) Listas de verificación (CHECK) Six Sigma (SS) Diseño de experimentos (DOE)
6.4 Indicadores de desempeño energético	Listas de verificación (CHECK) Indicadores físicos y de benchmarking (KPI)
6.5 Línea de base energética	Lean Energy Analysis (LEA) Línea de base energética compleja (LBC)
6.6 Planificación para la recopilación de datos de la energía	Value Stream Mapping (VSM) Diagrama de pareto (PAR)
<b>7 Apoyo</b>	
7.1 Recursos	Diagrama de flujo (FCHART) Diagrama de procesos de negocio (DPN)
7.2 Competencia	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo (DOC)
7.3 Toma de conciencia	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo (DOC)
7.4 Comunicación	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo (DOC)
7.5 Información documentada	Procedimientos/Instructivos/Plan operativo (DOC)
<b>8 Operación</b>	
8.1 Planificación y control operacional	Six Sigma (SS) Diseño de experimentos (DOE) Mantenimiento productivo total (TPM) Listas de verificación (CHECK)
8.2 Diseño	Diagrama de correlación (CORR)
8.3 Adquisición	Análisis de ciclo de vida simplificado (ACVS)
<b>9 Evaluación del desempeño</b>	
9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGE	Indicadores físicos y de benchmarking (KPI) Diagrama de pareto (PAR) Enterprise Energy Information System (EEIS)
9.2 Auditoría interna	Listas de verificación (CHECK) Diagrama de flujo (FCHART) Diagrama de procesos de negocio (DPN)
9.3 Revisión por la dirección	Indicadores físicos y de benchmarking (KPI)
<b>10 Mejora</b>	
10.1 No conformidad y acción correctiva	Análisis de causa raíz (RCA) Análisis de árbol de fallas (FTA) Análisis de causa y efecto (CEA)
10.2 Mejora continua	Indicadores físicos y de benchmarking (KPI)

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 7 – VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN

### 7.1 Plan de validación del diseño en el caso de aplicación

Es importante mencionar, tal como se aborda en el apartado 6.2 del presente trabajo, que la empresa seleccionada para el estudio de aplicación posee un perfil de gestión ampliamente desarrollado en lo que a implementación y mantenimiento de normas por procesos se refiere. Esta característica le vale el reconocimiento de que existe un grupo de herramientas que han sido señaladas como aplicables en el apartado 5.3 que se encuentran actualmente desarrolladas en los procesos de gestión de calidad, medio ambiente y seguridad de acuerdo con los requisitos de los estándares ISO.

En este sentido cabe destacar, según detalla la tabla 18, la equivalencia entre requisitos de los estándares ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 e ISO 50001 en sus versiones publicadas más recientes, cuyo diseño responde a lo que se conoce a partir del año 2015 como “estructura de alto nivel”.

Tabla 18: Equivalencia de requisitos de normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 e ISO 50001.

Requisitos ISO 50001:2018	Requisitos ISO 9001:2015	Requisitos ISO 14001:2015	Requisitos ISO 45001:2018
<b>4. Contexto de la organización</b>			
4.1 Comprensión de la organización y su contexto	4.1 Comprensión de la organización y de su Contexto	4.1 Comprensión de la organización y de su Contexto	4.1 Comprensión de la organización y de su Contexto
4.2 Comprensión de necesidades y expectativas de las partes interesadas	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas
4.3 Determinación del alcance y los límites de la gestión de la energía	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de la calidad	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión ambiental	4.3 Determinación del alcance del sistema de la SST
4.4 Sistema de Gestión de la Energía	4.4 Sistema de gestión de la calidad y sus procesos	4.4 Sistema de gestión ambiental	4.4 Sistema de la SST
<b>5. Liderazgo</b>			
5.1 Liderazgo y compromiso	5.1 Liderazgo y compromiso	5.1 Liderazgo y compromiso	5.1 Liderazgo y compromiso
5.2 Política energética	5.2 Política	5.2 Política ambiental	5.2 Política de la SST
5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	5.3 Roles, responsabilidades, rendición de cuentas y autoridades en la organización

Diseño de un sistema de gestión de energía

			5.4 Consulta y participación de los trabajadores
<b>6. Planificación</b>			
6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades
6.2 Objetivos energéticos, metas energéticas y planificación para lograrlos	6.2 Objetivos de la calidad y planificación para lograrlos	6.2 Objetivos ambientales y planificación para lograrlos	6.2 Objetivos de la SST y planificación para lograrlos
6.3 Revisión energética	6.3 Planificación de los cambios		
6.4 Indicadores de desempeño energético			
6.5 Línea de base energética			
6.6 Planificación para la recopilación de datos de la energía			
<b>7. Apoyo</b>			
7.1 Recursos	7.1 Recursos	7.1 Recursos	7.1 Recursos
7.2 Competencia	7.2 Competencia	7.2 Competencia	7.2 Competencia
7.3 Toma de conciencia	7.3 Toma de conciencia	7.3 Toma de conciencia	7.3 Toma de conciencia
7.4 Comunicación	7.4 Comunicación	7.4 Comunicación	7.4 Comunicación
7.5 Información documentada	7.5 Información documentada	7.5 Información documentada	7.5 Información documentada
<b>8. Operación</b>			
8.1 Planificación y control operacional	8.1 Planificación y control operacional	8.1 Planificación y control operacional	8.1 Planificación y control operacional
8.2 Diseño	8.2 Requisitos para los productos y servicios	8.2 Preparación y respuesta ante emergencias	8.2 Preparación y respuesta ante emergencias
8.3 Adquisición	8.3 Diseño y desarrollo		
	8.4 Control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente		
	8.5 Producción y provisión del servicio		
	8.6 Liberación de los productos y servicios		
	8.7 Control de las salidas no conformes		
<b>9. Evaluación del desempeño</b>			
9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGen	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación
9.2 Auditoría interna	9.2 Auditoría Interna	9.2 Auditoría Interna	9.2 Auditoría Interna
9.3 Revisión por la dirección	9.3 Revisión por la dirección	9.3 Revisión por la dirección	9.3 Revisión por la dirección
<b>10. Mejora</b>			
10.1 No conformidad y acción correctiva	10.1 Generalidades	10.1 Generalidades	10.1 Generalidades
10.2 Mejora continua	10.2 No conformidad y acción correctiva	10.2 No conformidad y acción correctiva	10.2 Incidentes, no conformidades y acciones correctivas
	10.3 Mejora continua	10.3 Mejora continua	10.3 Mejora continua

Fuente: Elaboración propia

Beatriz Viloría (2015) menciona que hasta el año 2015, momento en el que se presenta la estructura de alto nivel en la publicación del mismo año de la norma ISO 9001, existía una problemática vinculada a las diferentes estructuras que presentaban las normas ISO, en cada una de sus categorías. Dicha dificultad no se evidenciaba únicamente en relación con los esfuerzos de implementación individuales ya que se extendía hasta la definición de los propios sistemas de gestión que, en aquellas organizaciones que han desarrollado o tienen por objetivo desarrollar sistemas integrados, ha sabido generar incluso diferencias de conceptos o terminología.

El consejo técnico (TMB) de ISO definió entonces, como solución al problema, una estructura de alto nivel para todas las normas de sistemas de gestión. Esto implica que se establece un marco para un sistema de gestión genérico para aquellos estándares de estas características desarrollados o actualizados a partir del año 2015. Los requisitos particulares serán añadidos a dicho marco teórico. (Viloría, 2015).

Si se observa la estructura de la norma ISO 50001:2018, y la propia de los estándares de calidad, medio ambiente y seguridad expresados en la tabla 18, es posible verificar que la estructura que se presenta responde a:

- 4- Contexto de la organización
- 5- Liderazgo
- 6- Planificación
- 7- Apoyo
- 8- Operación
- 9- Evaluación de desempeño
- 10- Mejora

En este sentido cabe destacar que, aun cuando los capítulos de las normas mencionadas coinciden en términos de estructura y redacción, existen algunos requisitos que poseen mayor similitud entre ellos.

Los requisitos vinculados con el contexto de la organización, el liderazgo, los recursos de apoyo, la evaluación del desempeño y la mejora encuentran, aún en sus diferentes especialidades, aspectos y herramientas de abordaje en común.

Si se toman en cuenta las herramientas propuestas para la comprensión del contexto aplicables al caso de estudio presentadas en la tabla 17, se obtiene como recomendación la aplicación del Análisis de factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos (PEST) y el Análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (FODA). En este sentido, Ramirez Rojas (2017) y Chapman (2004), coinciden en que la aplicación de ambas metodologías se puede asociar con diversos aspectos del negocio, con lo cual su abordaje para analizar el contexto en términos de calidad, de medio ambiente, de seguridad o de energía resulta altamente aplicable.

Con el mismo enfoque, las herramientas propuestas para el abordaje de los requisitos de liderazgo (5), apoyo (7), evaluación de desempeño (8) y mejora (10) resultan aplicables tanto para el sistema de gestión de energía, como así también, a otras normas de procesos específicas que se desarrollan bajo la estructura de alto nivel.

Por otro lado, es interesante destacar que los requisitos de planificación (6) y operación (8), si bien se presentan de acuerdo con las definiciones de la estructura ya comentada, presentan determinadas particularidades. Si observamos los puntos abarcados por los requisitos mencionados, y que se han presentado en la tabla 18, es posible notar que cada temática define ciertos aspectos relevantes.

Respecto a la planificación, los estándares cuentan con los aspectos de “Acciones para abordar riesgos y oportunidades” y “Objetivos y planificación para lograrlos” como temas en común. Sin embargo, los estándares de calidad y energía reconocen además los siguientes puntos:

- ISO 9.001: Planificación de los cambios
- ISO 50.001: Revisión energética, indicadores de desempeño energéticos, línea de base energética y planificación para la recopilación de datos de energía.

En cuanto a la operación se refiere, los estándares abordan de manera general el requisito de “Planificación y control operacional”, sin embargo, cada estándar reconoce otros puntos como relevantes en su gestión:

- ISO 9.001: Requisitos para los productos y servicios, diseño y desarrollo, control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente, producción y provisión del servicio, liberación de los productos y servicios, y; control de las salidas no conformes.
- ISO 14.001 e ISO 45.001: Preparación y respuesta ante emergencias
- ISO 50.001: Diseño y adquisición

En este sentido es preciso destacar que, para el caso de estudio del presente trabajo de tesis, y en términos de validación de las herramientas seleccionadas con la metodología de valoración por criterios desarrollada en el capítulo 5, no resulta útil validar de manera práctica las herramientas de los requisitos de ISO 50.001 que presentan mayor similitud con sus equivalentes normativos en otros ámbitos de aplicación. Esta afirmación se apoya en que la organización posee un sistema de gestión integrado de calidad, medio ambiente y seguridad, y según se abordó anteriormente en este apartado, las herramientas recomendadas son ampliamente aplicables para los estándares que emplean la estructura de alto nivel.

Por su parte, resulta sumamente interesante validar las herramientas propuestas para el requisito de planificación por sobre los requisitos de operación dado que, en el desarrollo del sistema de gestión de energía, la planificación energética cobra un rol protagónico entendiendo que las estrategias apuntadas al control operacional surgen como consecuencia del mencionado análisis y revisión.

De acuerdo con lo abordado en el capítulo 5, el proceso de planificación, en el estándar ISO 50.001, tiene por objetivo aportar un panorama acerca de los niveles de consumo y eficiencia de los usos de la energía de una organización, y su estrategia está vinculada principalmente con la identificación de los riesgos y oportunidades que surgen como consecuencia del abordaje del contexto. Ahora bien, a nivel táctico, el tema principal se vincula con la definición de la metodología y los criterios para la realización de la revisión energética. Dicha revisión requiere de datos e información que permitan generar perspectivas de consumo, objetivos y oportunidades de mejora, y que se sustenta a partir de la definición de la línea de base e indicadores de desempeño energéticos vinculados a los usos y consumos significativos.

La tabla 19 ilustra el resultado de la vinculación de las herramientas propuestas para el abordaje de los requisitos, y la característica de gestión de la organización en el punto 6 de planificación.

Tabla 19: Herramientas aplicables al capítulo 6 de ISO 50001 para el caso de estudio.

Requisitos ISO 50001:2018	Organización industrial						Lean Manufacturing												Número de caracterización del requisito	
<b>6. Planificación</b>																				
6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades	SWIFT	81	DELPHI	27	RISK	81														81
6.2 Objetivos energéticos, metas energéticas y planificación para lograrlos	KPI	81					PAR	9												81
6.3 Revisión energética	FCHART	9	DPN	9	CHECK	9	MPP	81	VSM	243	SANKEY	243	ACVS	81	SS	243	DOE	243	243	
6.4 Indicadores de desempeño energético	KPI	81	CHECK	9																81
6.5 Línea de base energética							LBS	9	LBC	27	LBM	81								81
6.6 Planificación para la recopilación de datos de la energía	CHECK	9					PAR	9	PAR	9										81

Fuente: Elaboración propia

En términos del abordaje táctico del capítulo de planificación, cabe destacar que, si bien el seguimiento lógico del capítulo normativo menciona con antelación a la línea de base energética los conceptos de revisión energética e indicadores de desempeño, los autores sostienen que el éxito de la planificación del sistema se apoya en la correcta definición de la mencionada línea de base.

En línea con las definiciones de los autores mencionados durante el abordaje teórico, es preciso remarcar que los estudios demuestran que se pueden obtener beneficios energéticos como consecuencia directa de la aplicación de Lean Manufacturing en la industria. En este sentido, se destaca que un primer aspecto vinculado a este beneficio es la facilidad que tienen las empresas con herramientas o pensamiento Lean en su cultura organizacional para generar acciones de mejora energética. De acuerdo con Peng W. (2010), como consecuencia de la implementación de Lean en las fábricas europeas de

Toyota se alcanzó un 37% de ahorro energético por vehículo. En combinación con el conjunto de metodologías de Lean Manufacturing, el enfoque de Six Sigma aporta a las organizaciones una mirada técnica y confiable sobre las razones de variación del consumo en los procesos y usos y consumos significativos, a partir de la aplicación de técnicas estadísticas. La identificación y validación de las variables relevantes conducen al entendimiento del perfil para dichos aspectos y permiten colaborar en la estimación de los consumos futuros, con base en recomendaciones operativas.

Desde este punto de vista, y analizando las herramientas propuestas con foco en Lean Manufacturing, resulta interesante validar de manera práctica la implementación de Six Sigma y diseño de experimentos por sobre el conjunto de herramientas aplicables al punto 6, entendiendo que el nivel de complejidad de la herramienta y la capacidad de acceder a la información y gestionarla es aplicable al estado actual de conocimientos del proceso en estudio.

A modo de conclusión, y como resultado del análisis, la valoración y la investigación acerca de la importancia de los aspectos de la planificación en los sistemas de gestión energéticos, se define la validación práctica para el caso de estudio en el presente trabajo de tesis de las herramientas de Six Sigma y diseño de experimentos.

## 6.2 Aplicación de las herramientas en el caso práctico

Tomando como referencia la descripción de las operaciones de VASA desarrollada en el apartado 4.3, se detalla en la tabla 20 el análisis de fuentes energéticas, siendo el mayor consumo el correspondiente a gas natural, debido a los quemadores del horno.

Tabla 20: Consumo de hornos según fuente energética en el año 2019.

Area	Electricidad (KWh/año)	Gas (M3/año)	Electricidad (MMBTU/año)	Gas (MMBTU/año)	Energía total
Horno float	44580916	39474441	151999	1384338	1536337
Horno texturado	2839069	6070643	9679	212893	222572

Fuente: Elaboración propia

En base a las mencionadas referencias, es posible definir que los usos y consumos significativos de los procesos operativos de la organización se definen como el consumo

## Diseño de un sistema de gestión de energía

de energía eléctrica y gas natural en el proceso de vidrio flotado. El análisis correspondiente a la planificación del sistema de gestión energética se centrará, entonces, en dichos aspectos.

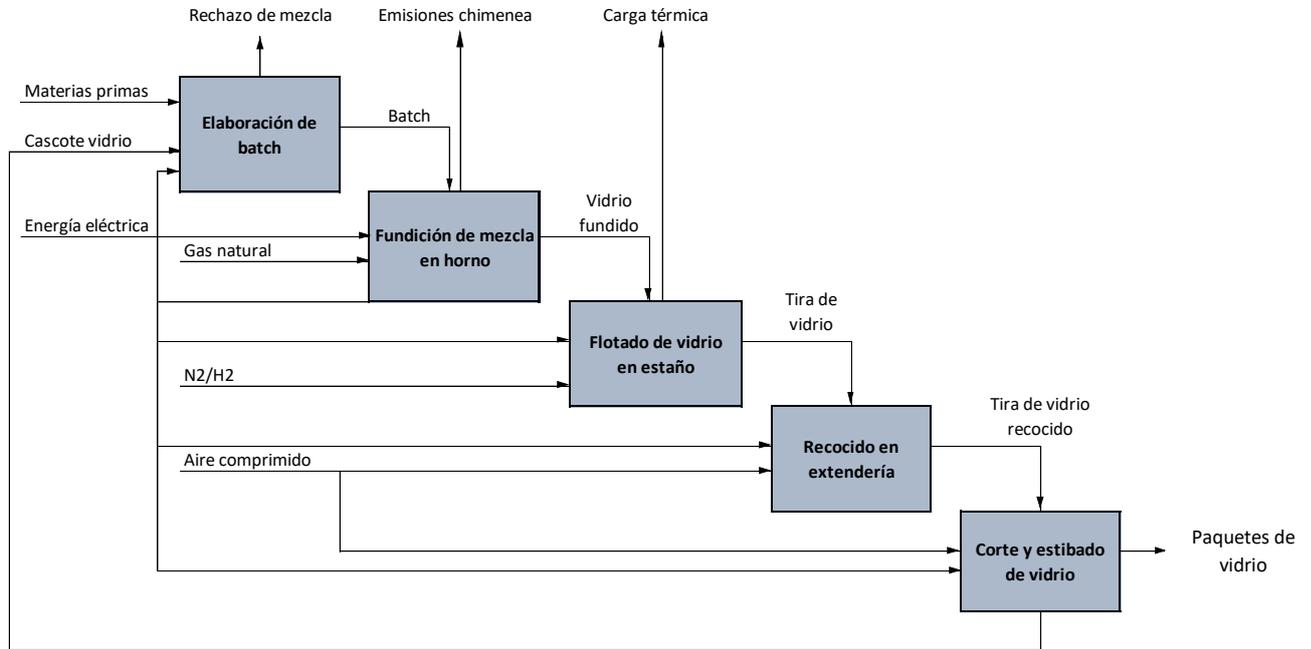


Figura 25. Proceso de fabricación de vidrio flotado. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de vidrio flotado, ilustrado en la figura 25, comienza a partir de la conformación del batch de mezcla de materias primas, constituido por arena, carbonato de sodio, piedra caliza, dolomita, sal y carbón. Cada material se encuentra almacenado en silos localizados en la planta de mezcla, a partir de los cuales se entrega los materiales a las tolvas para su pesado preciso. Finalmente son introducidos en una mezcladora para obtener un batch homogéneo de características acordes a la especificación técnica.

Durante el traslado del batch ya conformado al horno, se adiciona vidrio molido, conocido como cascote, en porciones controladas. El objetivo de dicho material es mejorar las características de fusión de la mezcla, sin embargo, en grandes porcentajes puede afectar la calidad del producto final. La alimentación de batch y vidrio molido al horno se realiza de manera constante a velocidad controlada, con el objetivo de mantener constante el nivel de vidrio del horno.

La garganta es el punto en el que el batch ingresa al horno y se da la fusión principal. Posteriormente, el refinador absorbe las burbujas generadas durante la fundición, y un conjunto de agitadores homogeneizan el vidrio. En este punto, las

temperaturas oscilan entre los 1500 y las 1600°C. Finalmente, se acondiciona la temperatura correcta para el baño de flotación posterior, mediante un proceso de enfriado. Las temperaturas, en esta etapa, descienden de los 1400 a los 1100°C.

El baño de flotación es un recipiente de acero que contiene el estaño en estado líquido, sobre el cual el vidrio fundido forma una cinta plana sobre su superficie y se extrae del baño mediante la tracción del propio horno y un conjunto de rodillos.

Después de que el vidrio es recocido mediante un templado por radiación, se enfría por control a una velocidad mayor y finalmente se enfría a la fuerza para lograr la temperatura necesaria para las operaciones del almacén. Posteriormente se producen los cortes longitudinales y transversales, y las placas cortadas continúan siendo trasladadas mediante una cama de rodillos neumáticos de goma.

El sistema de control automático asegura que las placas dentro de las especificaciones pasen al equipo de descarga, mientras que las placas defectuosas se rechazan al sistema de desecho. Luego se aplica un intercalante para evitar daños en la superficie de estas, al tiempo que se apilan en los caballetes correspondientes

En términos de consumo energético, y tal como se especificó en el análisis energético previo, la fuente de mayor consumo de energía del proceso es el gas natural, requerido para llevar el proceso de fundición a 1600°C. Los usos y consumos significativos serán abordados, entonces, a partir de la etapa de fundición que tiene lugar en el horno propiamente dicho.

A partir de esta información, como parte de los requisitos planteados en el punto 6 de planificación, es preciso elaborar una línea de base energética, tomando en consideración los usos y consumos significativos, sobre la cual se proyectará la evolución al momento de estimar los consumos futuros trabajando con las variables relevantes.

De acuerdo con las herramientas evaluadas aplicables al nivel de gestión de la organización, es posible construir un modelo matemático (o como fue denominado en la tabla de evaluación; modelo complejo) que represente el consumo energético del horno. Para llevar a cabo este análisis, se optará por la elaboración de un modelo estadístico lineal de regresión simple debido a que, si es posible demostrar que se produce un comportamiento lineal con el consumo que no depende de las variables independientes (como pueden ser los arranques, paradas, o trabajos planificados, entre otros), es posible

determinar indicadores energéticos confiables. En este sentido, el objetivo del trabajo de construcción del modelo matemático que constituye la línea de base es contar con información del punto de partida en términos de consumo, con información acerca del aspecto a abordar de acuerdo con la correlación comprobable, y que permita en un nuevo período comparar con un estado de consumo futuro.

Para la construcción del modelo, se decide tomar los datos de consumo energético total del horno de fusión, y se convirtieron a MWH con el objetivo de que sea posible obtener un valor de consumo energético equivalente para gas natural y energía eléctrica. Se tomó como referencia el período septiembre de 2017 hasta octubre de 2020, sin embargo, se decidió retirar los consumos correspondientes a los meses de abril y mayo de 2020 en el cual el horno se encontró recirculando sin obtener producto elaborado a causa de las restricciones definidas en Argentina debido a la pandemia COVID-19.

La confiabilidad de los datos para la elaboración de modelos matemáticos resulta un aspecto central. En este sentido, empleando la metodología six sigma, resulta relevante comprobar que los datos de consumo se encuentran normalizados. En primera instancia, entonces, se procede a elaborar una gráfica IMR que de cuenta del estado del proceso, de acuerdo a la ilustración de la figura 26.

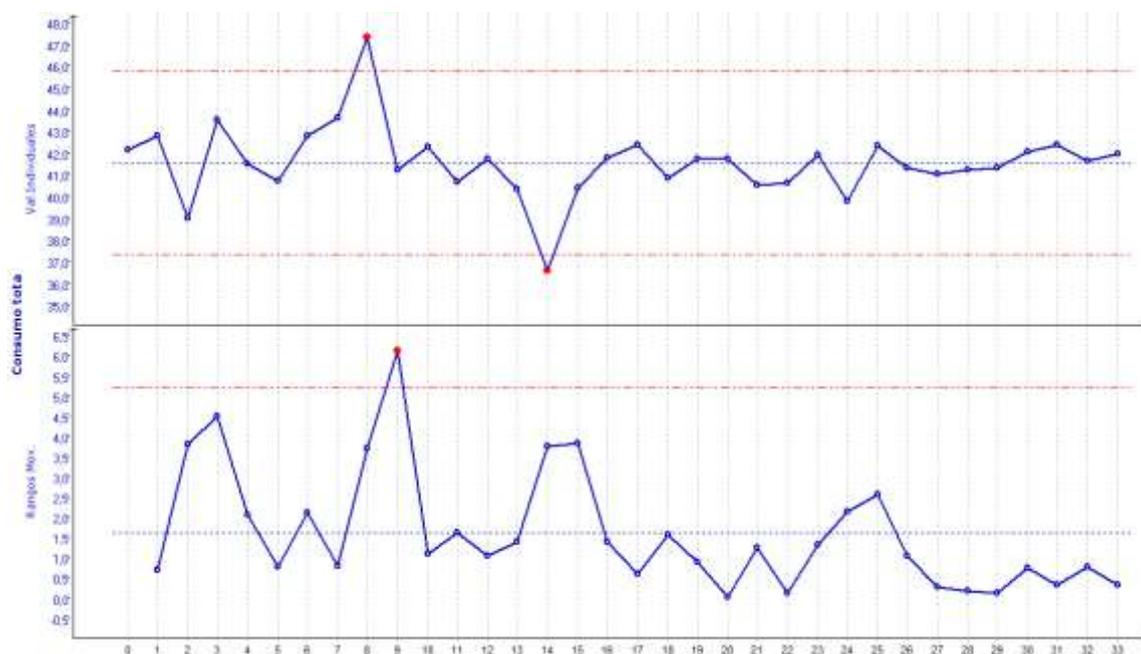


Figura 26. Gráfica IMR de consumo energético total del horno de fusión en el período septiembre 2017-octubre 2020. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica es posible identificar que existen registros de consumo que se encuentran por fuera de los límites estadísticos del ensayo. Por tal motivo, se procede a identificar si han existido eventos que puede aplicar como causas asignables para que sea justificable su omisión en una versión del ensayo. En este proceso se comprueba que existen ocho puntos que corresponden a tareas de mantenimiento programado que han demandado períodos especiales de recirculación, y un evento de cambio de color de producto que requirió de una configuración de temperaturas en particular.

Luego del mencionado proceso de revisión, se procede a actualizar la gráfica IMR para verificar que no se detecten nuevas causas especiales de variación, y en adición, a realizar el cálculo de normalidad.

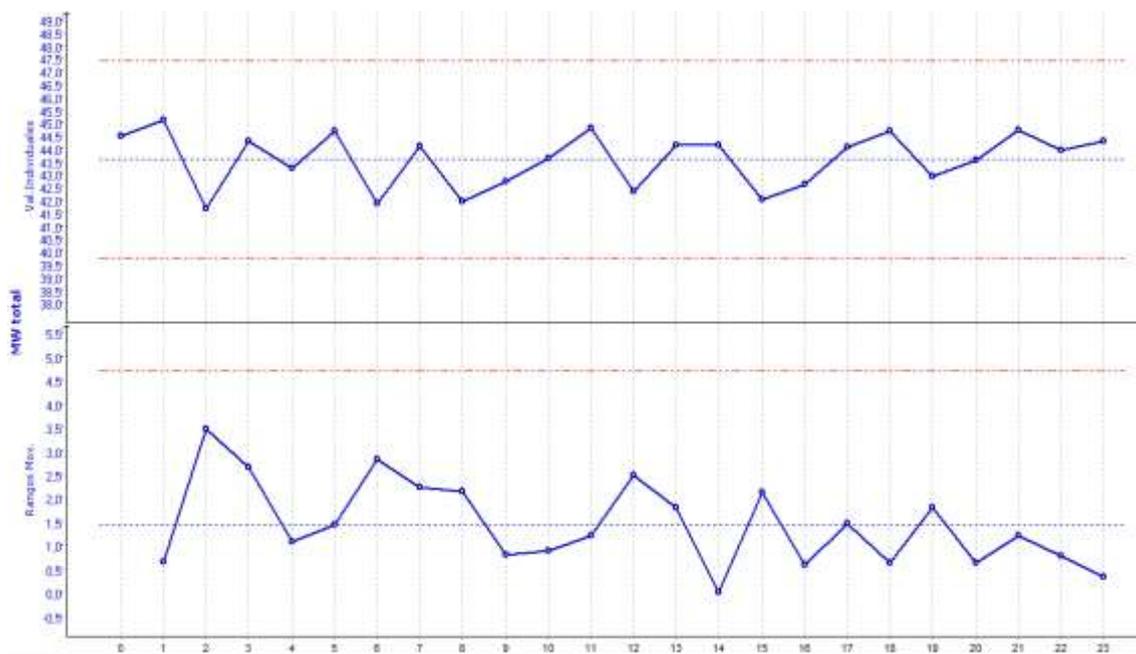


Figura 27. Gráfica IMR de consumo energético total del horno de fusión en el período septiembre 2017-octubre 2020 sin causas especiales de variación. Fuente: Elaboración propia.

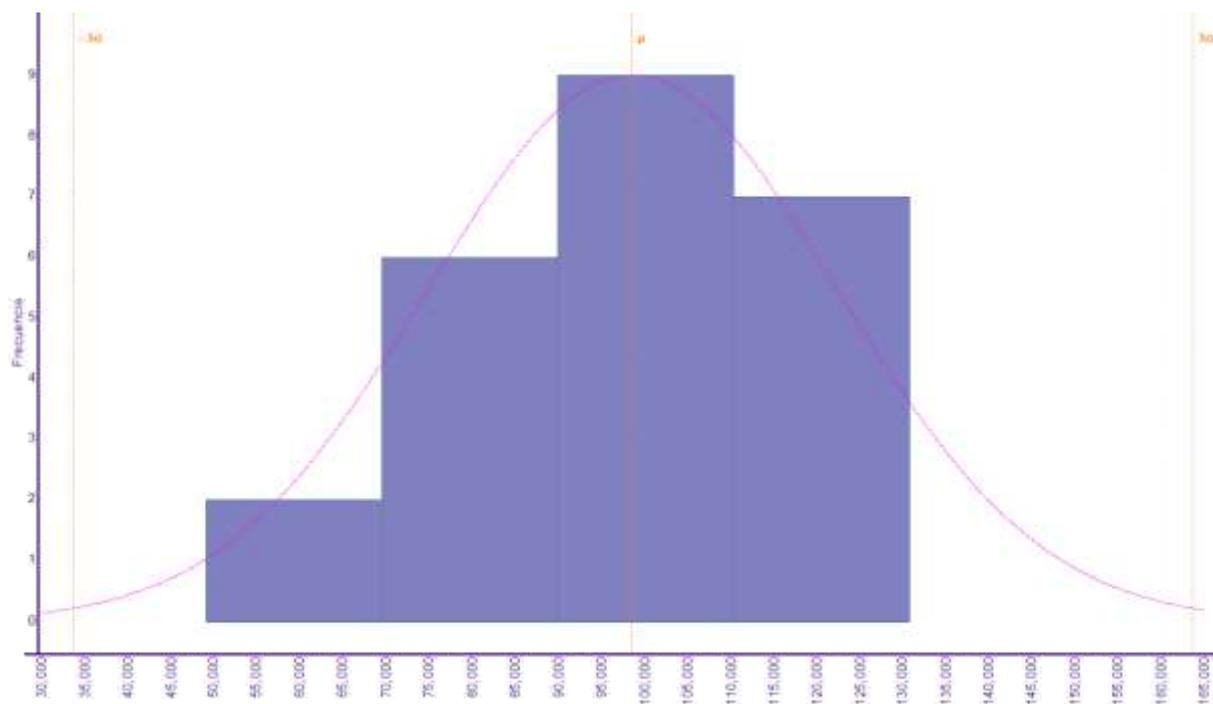


Figura 28. Curva de normalidad del consumo energético total del horno de fusión en el período septiembre 2017-octubre 2020. Fuente: Elaboración propia.

En este nuevo estado, es posible afirmar que los datos bajo análisis se encuentran normalizados para ser estudiados en relación con una variable significativa. Las características que debe reunir dicha variable, según afirma Campos (2018), son la no dependencia de la operación y el mantenimiento, y la incapacidad de poder actuar sobre la misma, lo que hace que sea referencial para el cambio del consumo energético. En este sentido, se pueden destacar los siguientes ejemplos:

- Temperatura ambiente
- Condiciones y estado de los equipos o máquinas del proceso
- Volumen de producción
- Mix de producción

Para el presente caso de estudio, es preciso referir que las variaciones en la temperatura ambiental no tienen incidencia significativa en el aporte de calor que deben realizar los quemadores sobre el horno de fusión. Por otro lado, no ha sido posible verificar la influencia de las condiciones operativas de la maquinaria y los equipos debido a la dificultad para poder obtener datos trazables en las condiciones normales del proceso.

Las toneladas producidas resultan una variable relevante en tanto se relacionan con el tonelaje (o carga) de mezcla y vidrio molido que ingresa al horno de fusión, al

tiempo que la configuración de la mencionada mezcla determina la estrategia de empleo de energía para asegurar el correcto proceso de fusión. En cuanto al mix de producción, se destaca que se encuentra vinculado a la variable de toneladas producidas en tanto, como se mencionó anteriormente, existe un diferencial en la cantidad de carga que ingresa el horno de acuerdo con el espesor requerido por el programa de producción.

Se determina, entonces, que el modelo de regresión lineal será realizado considerando la variación del consumo de energía del horno de fusión en relación con las toneladas de vidrio producidas, con base mensual, en el período mencionado.

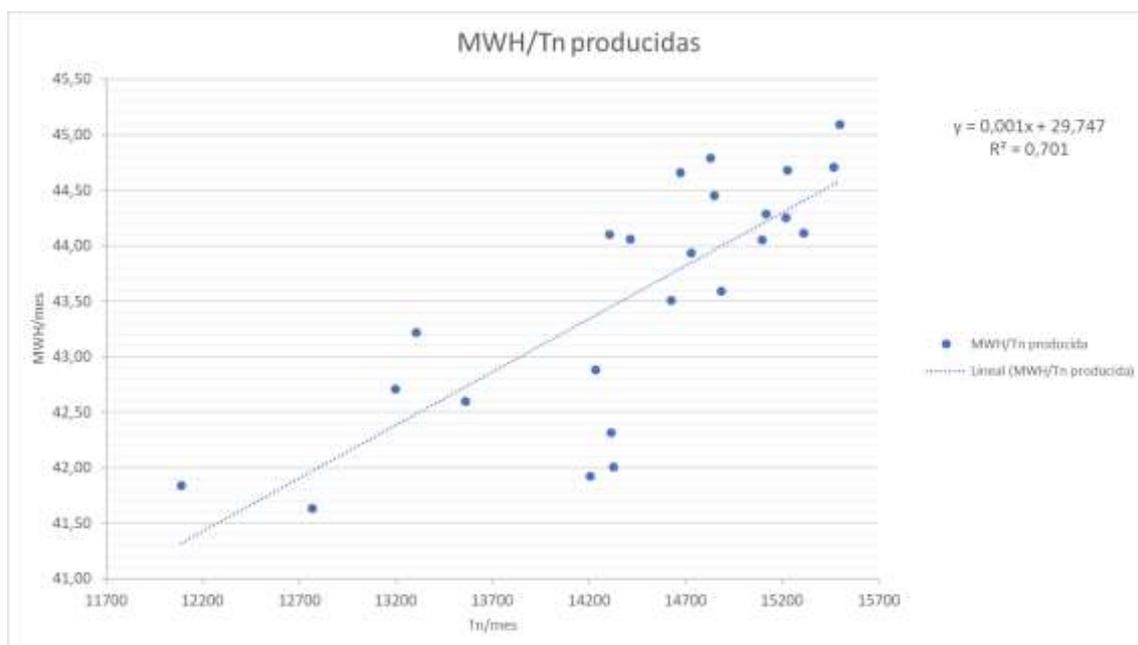


Figura 29. Análisis de regresión lineal sobre el consumo energético del horno de vidrio flotado. Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica presentada en la figura 29, se desprende que el  $R^2 = 0,701$ . De acuerdo con lo expuesto en el apartado 3.3, se considera como índice de referencia para determinar que la correlación es efectiva el valor de 0,75. Por este motivo, se considera el valor “P” del análisis, el cual evalúa la significancia estadística del resultado. Para la correlación en estudio, el resultado del p value = 1,2504 E-06. Con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que la relación es estadísticamente significativa, dado que dicho resultado es menor a 0,05%.

En base a los resultados se presenta, en la tabla 20, la línea de base energética para el período analizado. La construcción se realizó tomando el promedio de consumo

## Diseño de un sistema de gestión de energía

energético total, de energía eléctrica y de gas natural de cada mes coincidente con la base de datos de origen que se encuentra normalizada.

Tabla 21: Línea de base energética horno de fusión de vidrio flotado.

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Consumo total MWH	42,88	42,71	43,59	43,21	43,30	43,81	44,12	43,41	43,73	43,38	44,25	43,90	43,52
Consumo EE MWH	2,35	2,02	2,30	2,05	2,32	2,24	2,96	2,38	2,44	2,24	2,61	2,71	2,39
Consumo gas natural KWH	40,53	40,69	41,29	41,16	40,98	41,57	41,16	40,93	41,21	41,14	41,61	41,19	41,12
Consumo gas natural M3	3842	3857	3914	3901	3884	3940	3901	3880	3906	3900	3944	3904	3897,83

Fuente: Elaboración propia

La interpretación del valor de la correlación concluye en que las toneladas producidas resultan ser una variable relevante en el consumo energético del horno, aunque la dispersión de los valores afecta la proporción de la correlación y dan cuenta de que existen otras variables que pueden estar vinculadas al desempeño.

En este sentido, se decide aceptar el diseño de la línea de base energética desarrollado, y proceder en el análisis de las variables asociadas a la producción de vidrio que inciden en el consumo energético del horno de fusión.

La figura 30 ilustra las operaciones del horno, a partir de las cuales es posible identificar cuáles son las variables relevantes que afectan el consumo energético.

## Diseño de un sistema de gestión de energía

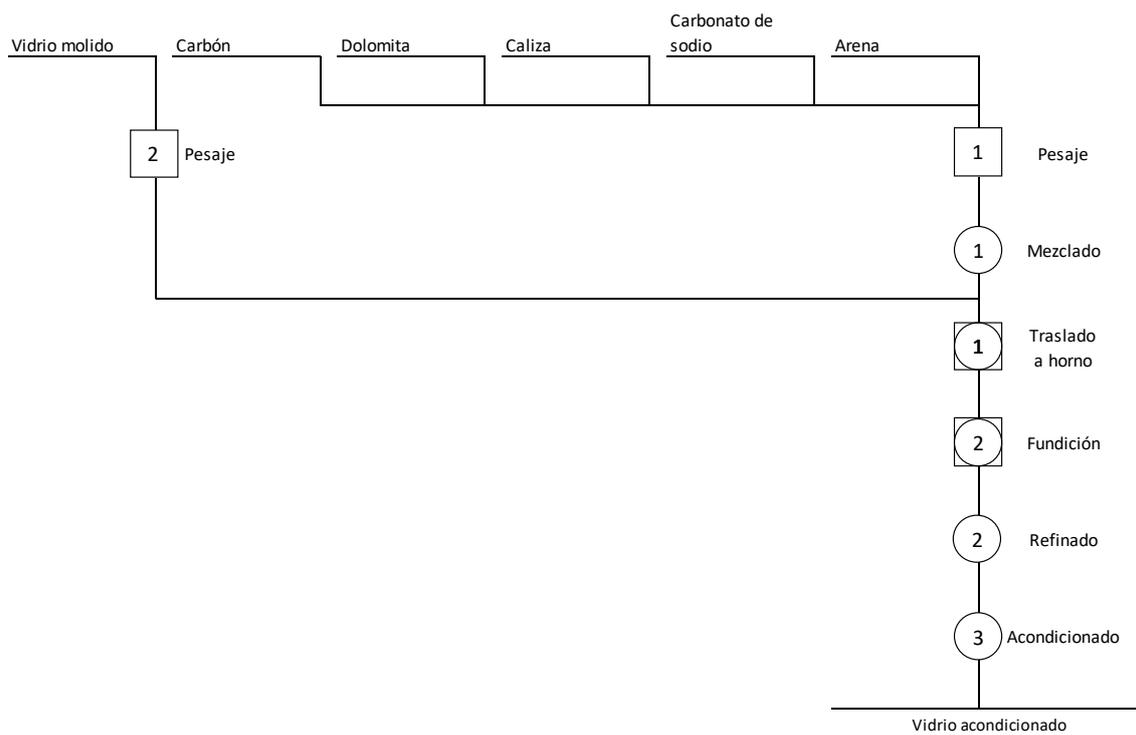


Figura 30. Diagrama de operaciones del horno de fundición de vidrio flotado.  
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del análisis del proceso se detalla, en la tabla 22, las variables intervinientes en cada subetapa de la operación del horno, relevando en cada caso cuáles son las variables que inciden en el consumo de energía.

Tabla 22: Detalle de etapas descritas en el diagrama de operaciones del horno de fusión.

Control	Operación	Combinado	Descripción	Variables que inciden en el consumo energético
1			Pesaje para control de dosificación de materias primas en la conformación del batch, de acuerdo a la especificación técnica	Consumo de energía eléctrica
	1		Homogeneizado de componentes del batch en mezcladora centrífuga	Consumo de energía eléctrica
2			Pesaje para control de dosificación de vidrio molido en la conformación del batch.	Consumo de energía eléctrica Porcentaje de vidrio molido en composición de batch

## Diseño de un sistema de gestión de energía

		1	Traslado de batch y vidrio molido mediante cintas transportadoras hacia las palas de enformaje para el ingreso a la garganta del horno, con control de velocidad según tonelaje	Consumo de energía eléctrica Carga/Tonelaje que ingresa al horno
		2	Fusión del batch y el vidrio molido para incorporarse a la masa de vidrio fundido en el interior del horno	Consumo de energía eléctrica Consumo de Gas natural Encendido de boosting eléctrico
	2		Absorción de burbujas	Consumo de energía eléctrica Consumo de Gas natural
	3		Enfriamiento controlado para preparación para proceso de baño	Consumo de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia

En base a lo expuesto, las variables que afectan al consumo energético del horno de fusión que se analizan en el presente apartado son:

- Consumo de energía eléctrica
- Consumo de gas natural
- Encendido de boosting
- Carga/Tonelaje
- Porcentaje de cascote

Como consideración, en adelante se toma el encendido del boosting como el uso significativo de la energía eléctrica en el proceso de horno, debido a que el consumo de esta fuente energética cuando el equipo no está operando resulta despreciable respecto al consumo de gas natural.

Con el objetivo de comprobar si existen relaciones significativas entre las variables definidas que pueden causar variaciones en el consumo energético, se utiliza la herramienta multivari. Este análisis, representado en la figura 31, toma en consideración cómo las variables carga/tonelaje, porcentaje de cascote, y consumo eléctrico del boosting inciden en el consumo de gas natural, el uso y consumo más significativo del horno. Para emplear esta herramienta, se utilizó como base de datos el histórico de consumos energéticos normalizado que se empleó en la construcción de la línea de base energética.

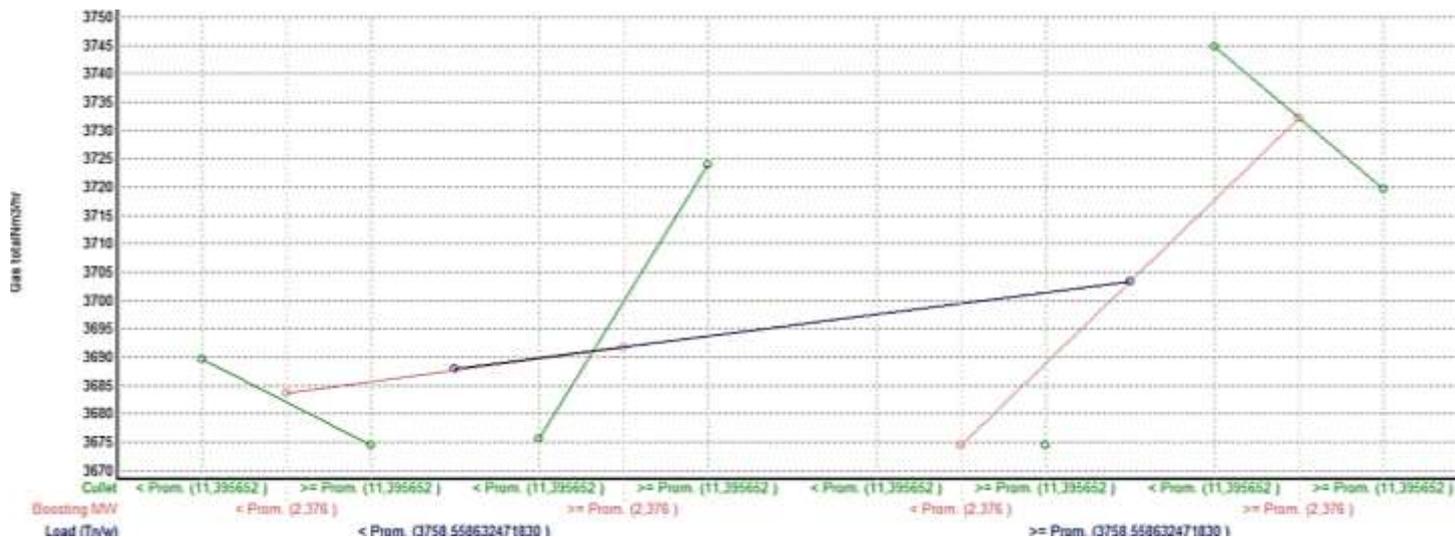


Figura 31. Análisis multivari de consumo de gas natural en relación con las variables identificadas. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la interpretación de esta herramienta cualitativa, se concluye que las pendientes pronunciadas que se verifican para las tres variables en estudio en función del consumo de gas natural resultan ser representativas. En este sentido, merece la pena llevar adelante un DOE completo de tres variables para entender la relación del porcentaje de cascote, el uso del boosting eléctrico y la carga que ingresa al horno con la variación del consumo de gas, la cual se tomará como variable independiente “Y”.

El diseño consiste en el análisis de tres variables en dos niveles, que corresponden con los valores máximos y mínimos operativos que es posible ensayar en cada caso para evaluar el efecto de las combinaciones, siendo los detallados en la tabla 23.

Tabla 23: Niveles máximos y mínimos para ensayo DOE de tres variables.

Nivel	Vidrio molido (%)	Potencia boosting eléctrico (MWH)	Carga/Tonelaje (TPW)
Mínimo (-1)	9	1	3400
Máximo (1)	13	3	3800

Fuente: Elaboración propia

Para dichos niveles, se diseña un ensayo de máximos y mínimos organizados en ocho combinaciones para las que se pretende obtener dos muestras de cada una, con el objetivo de que resulten estadísticamente representativas para evaluar la influencia de los factores sobre el comportamiento del consumo de gas natural del horno. El diseño se detalla en la tabla 24.

Tabla 24: Diseño de DOE de tres niveles sobre el consumo de gas natural del horno.

	Vidrio molido	Boosting	Carga	Muestra 1	Muestra 2
Nivel 1	9	1	3400	1	2
Nivel 2	13	3	3800		
1	-1	-1	-1		
2	1	-1	-1		
3	-1	1	-1		
4	1	1	-1		
5	-1	-1	1		
6	1	-1	1		
7	-1	1	1		
8	1	1	1		

Fuente: Elaboración propia

Las combinaciones, y la procuración de la estabilización del proceso para la toma de datos, fueron realizadas en la operación del horno durante el período de noviembre 2020 y junio 2021, cuando las condiciones operativas lo permitieron. Los resultados de consumo en referencia a las combinaciones se detallan en hoja de datos ilustrada en la figura 32.

Fecha lectura	Configuración variables			Consumo gas natural promedio (M3/h)
	Vidrio molido	Boosting	Carga	
18/2/2021	10,30	1,35	3818	3640
21/5/2021	13,93	2,93	3838	3705
12/3/2021	13,20	2,88	3804	3720
5/2/2021	9,69	1,16	3832	3600
18/3/2021	13,01	1,12	3847	3693
22/2/2021	13,49	1,39	3842	3611
10/4/2021	9,37	3,40	3834	3714
14/6/2021	10,10	3,16	3818	3690
21/1/2021	13,40	3,20	3488	3594
28/3/2021	10,22	1,22	3486	3555
23/11/2020	9,70	1,60	3484	3556
7/1/2021	13,54	3,11	3481	3600
17/12/2020	9,81	3,00	3479	3577
28/12/2020	9,11	2,97	3465	3691
30/11/2020	13,21	1,47	3447	3490
11/5/2021	13,74	1,31	3442	3627

Figura 32. Hoja de datos para diseño de experimentos. Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta las lecturas de consumo obtenidas en función de las combinaciones propuestas por el diseño de experimentos, se presentan los resultados en el formato de ensayo original, según se muestra en la tabla 25.

Tabla 25: Resultados de combinaciones de variable sobre el consumo de gas natural del horno.

	Vidrio molido	Boosting	Carga	Muestra	Muestra
Nivel 1	9	1	3400	1	2
Nivel 2	13	3	3800		
1	-1	-1	-1	3556	3555
2	1	-1	-1	3490	3627
3	-1	1	-1	3577	3691
4	1	1	-1	3594	3600
5	-1	-1	1	3600	3640
6	1	-1	1	3611	3693
7	-1	1	1	3690	3714

8	1	1	1	3720	3705
---	---	---	---	------	------

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados, se utiliza el software Minitab para procesar los datos de consumo de las muestras presentadas. Según ilustra el diagrama de Pareto de los efectos de las variables en estudio de la figura 33, la carga resulta la variable con mayor incidencia en el consumo de gas natural. Por su parte, se verifica que el uso del boosting eléctrico, aunque en menor medida, también impacta en el comportamiento de la variable independiente.

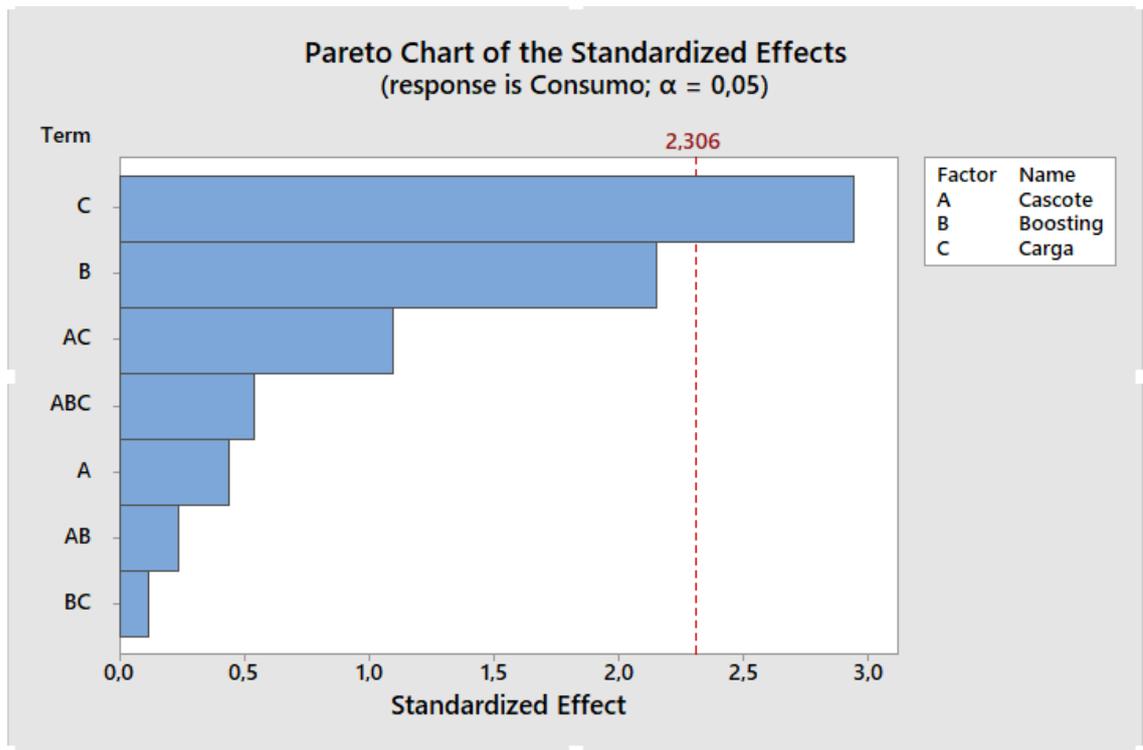


Figura 33. Diagrama de Pareto para efectos de las variables en estudio sobre el consumo de gas natural en el horno de fusión. Fuente: Elaboración propia

En adición, se comparten los resultados del análisis de varianza del ensayo obtenidos con el Minitab para los datos presentados anteriormente:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	40247,9	5749,7	2,15	0,153
Linear	3	36074,2	12024,7	4,49	0,040
Cascote	1	517,6	517,6	0,19	0,672
Boosting	1	12376,6	12376,6	4,62	0,064
Carga	1	23180,1	23180,1	8,66	0,019
2-Way Interactions	3	3403,7	1134,6	0,42	0,741
Cascote*Busting	1	150,1	150,1	0,06	0,819
Cascote*Carga	1	3220,6	3220,6	1,20	0,305
Busting*Carga	1	33,1	33,1	0,01	0,914

## Diseño de un sistema de gestión de energía

3-Way Interactions	1	770,1	770,1	0,29	0,606
Cascote*Busting*Carga	1	770,1	770,1	0,29	0,606
Error	8	21425,5	2678,2		
Total	15	61673,4			

Analizando los resultados, se puede asumir que trabajando sobre la carga del horno se puede reducir el consumo de gas natural, entendiendo que el comportamiento de la segunda variable con mayor influencia tiene relación con la primera.

En este sentido, se decide trabajar con la herramienta “Optimizer” de Minitab, dado que permite proyectar las tres variables. Este análisis ofrece la posibilidad de asignar valores dentro del rango en estudio para cada variable dependiente, obteniendo como resultado la lectura de cómo afecta dicha configuración individual al conjunto sobre el comportamiento de la variable “Y”.

Para el análisis de consumo proyectado, se propone trabajar los valores de carga manteniendo los valores de consumo de boosting eléctrico y porcentaje de cascote en un nivel promedio. La figura 34 ilustra el resultado obtenido en el análisis de la configuración.

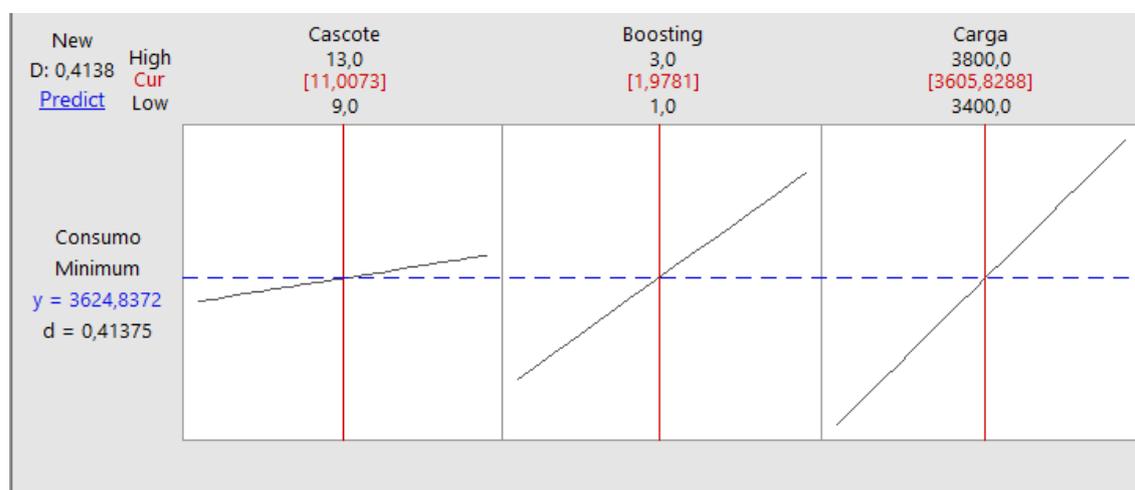


Figura 34. Resultados de proyección de las variables dependientes para el consumo de gas natural en el horno de fusión. Fuente: Elaboración propia

En base a la lectura de la herramienta, la propuesta es que las variables en estudio se configuren operativamente en torno a los siguientes promedios:

- Porcentaje de cascote: 11%
- Potencia de boosting eléctrico: 1,9 MWH
- Carga del horno/Tonelaje: 3.605 TPW

De la configuración de las variables con los promedios detallados surge, como resultado, que el consumo de gas natural resultaría en 3.624 M3/h. Considerando el promedio de consumo de la misma fuente de energía de la línea de base presentada en la tabla 21, el cual corresponde a 3.898 M3/h, el ahorro energético con la configuración propuesta resultaría en 7%.

En función de los resultados obtenidos, se realizan consultas con los expertos para evaluar la factibilidad de la propuesta. Como consecuencia, se trabaja en la elaboración de una hoja de datos, presentada en la tabla 26, que considera la configuración operativa de las variables estudiadas, teniendo en cuenta el mix de producción del proceso, el cual, en términos históricos, mantiene la misma proporción.

El horno de vidrio flotado produce placas incoloras que, como se mencionó anteriormente en el presente apartado, tienen la misma receta de batch de mezcla. Los diferentes productos del proceso difieren únicamente en su espesor, por lo tanto, el mix de producción abarca la producción de diferentes espesores. Por su parte, cada espesor tiene una carga o tonelaje asociadas a la producción, con el objetivo de mantener el nivel de la masa fundida dentro del horno y garantizar la velocidad de extracción de la tira del vidrio. En la Tabla 26 se opta por no especificar dichos espesores, para preservar la confidencialidad del proceso.

Tabla 26: Hoja de datos para la configuración de variables operativas para cada producto.

Producto	Carga	Boosting	Porcentaje de cascote	Output
	TPW	MWH	%	Tn
Espesor A	3750	2,7	13,2	58165
Espesor B	3750	2,5	12,0	56372
Espesor C	3654,8	1,8	10,0	23693
Espesor D	3591,1	1,5	9,5	13866
Espesor E	3151	0,8	7,0	5027
Espesor F	3150	0,8	7,0	12890
<i>Total</i>				<i>170013</i>
<i>Promedio ponderado</i>	<i>3660,6</i>	<i>2,2</i>	<i>11,4</i>	

Fuente: Elaboración propia.

De la elaboración de la hoja de datos en conjunto con el equipo operativo, se obtienen los promedios ponderados que representan los valores de cada variable dependiente, comparables con las recomendaciones realizadas de acuerdo con el análisis previamente presentado. Para elaborarla, se consideraron las toneladas de producción proyectadas para el año en curso.

Se observa que el valor de carga promedio es levemente mayor a la recomendación, lo cual resultaría, tomando como referencia únicamente esta variable de ajuste, en una reducción de consumo de gas natural del 5,48% respecto a la línea de base.

Con el objetivo de validar la propuesta desarrollada en conjunto con el equipo operativo del horno, durante los meses de julio y agosto de 2021 se dispuso a emplear las configuraciones recomendadas en las campañas de producción de los distintos espesores. Los resultados recolectados durante este período se presentan en la tabla 27.

Tabla 27. Configuración de variables durante campañas de producción de horno de fusión en el período julio-agosto 2021.

Producto	Carga	Boosting	Porcentaje de cascote	Output
	TPW	MWH	%	Tn
Espesor A	3761	2,3	12,7	6233
Espesor B	3699	2	11,0	5495
Espesor C	3601	1,5	9,8	1829
Espesor D	3582	1,5	9,6	1698
Espesor E	0	0	0,0	0
Espesor F	0	0	0,0	0
Total				15254
Promedio ponderado	3699,6	2,01	11,4	

Fuente: Elaboración propia

A modo de conclusión se puede afirmar que las configuraciones, de acuerdo con la recomendación, han logrado ajustar el valor promedio de la carga del horno, aun cuando el valor óptimo no pudo ser operativamente alcanzado. Por su parte, los valores de potencia de boosting eléctrico y porcentaje de cascote pudieron ser alcanzados en el período de validación.

Analizando los resultados operativos obtenidos durante el período de validación, con un nivel promedio de carga de 3699,6 TPW, frente a las 3605 TPW recomendadas de

## Diseño de un sistema de gestión de energía

acuerdo con el ensayo original, se concluye que este ajuste resulta en una disminución del consumo de gas natural de un 4,46%. Esta reducción se encuentra por debajo del 7% propuesto, pero aun así significa una proporción de mejora altamente significativa considerando el volumen de consumo del horno de fusión.

## CAPÍTULO 8 - ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

### **8.1 Vinculación del marco teórico con la aplicación del diseño en el caso práctico**

Durante el desarrollo del segundo capítulo del presente trabajo, se ha abordado el concepto de eficiencia energética vinculado con el medio ambiente, en un contexto global en el que prima el consumo de combustible fósil como principal fuente de consumo energético. La importancia del abordaje del concepto de eficiencia energética resulta sumamente relevante en el ámbito industrial por su característica de principal demandante, en un entorno en el que se ha comenzado a evidenciar el impacto de la actividad humana en el medio ambiente, conduciendo en este sentido un proceso de crecientes compromisos ambientales que han generado nuevos escenarios en términos de competitividad.

Aun cuando la exigencia normativa o legal en el territorio de la República Argentina en términos energéticos no se destaca por su extensión y desarrollo, el principal riesgo vinculado a la continuidad del negocio se encuentra asociado a la provisión continua del suministro, sobre todo para las organizaciones que demandan elevados consumos durante períodos extensos o ininterrumpidos de tiempo.

Si bien es cierto que la gestión energética en las organizaciones resulta relevante desde el aspecto de la competitividad (en términos de costos de acceso al servicio) y en la provisión confiable de energía que permita sostener procesos dependientes de la continuidad y calidad del suministro, desde el punto de vista ambiental resulta imperioso que los procesos de estas características adopten prácticas que permitan gestionar eficientemente sus consumos significativos. En el capítulo 4 se ha desarrollado el perfil de consumo energético de la República Argentina, concluyendo que, en un entorno de fuentes no renovables, la gestión energética es la mejor alternativa en la transición hacia energías limpias.

El estándar ISO 50001 ha sido desarrollado con el objetivo de brindar un marco de gestión respecto al consumo energético de las organizaciones, tomando como referencia las bases previamente establecidas por normas de procesos desarrolladas en otros ámbitos, tales como ISO 9001 e ISO 14001. En su versión más reciente, publicada en el año 2018, supo alinear su contenido de acuerdo con la estructura de alto nivel presentada por la actualización del año 2015 del estándar ISO 9001, lo cual le vale el reconocimiento

de que su aplicabilidad en procesos que manejan el lenguaje común de los sistemas de gestión, tal como se desarrolló en el apartado 6.1, tiene grandes ventajas.

La principal dificultad de llevar a cabo procesos de gestión energética radica en la complejidad técnica que pueden conllevar los análisis, y la disponibilidad de datos confiables que se utilizan como fuente de entrada. En este sentido, el estándar ISO 50001:2018 proporciona un esquema organizado para estructurar el abordaje desde el estudio de la situación inicial hacia el desarrollo de los objetivos, con base en que la complejidad del sistema avance de acuerdo con el concepto de la mejora continua.

Aún en empresas de procesos complejos y sistemas de gestión implementados en otros ámbitos, tal como ocurre con el caso de estudio, puede resultar complejo estructurar el análisis de su usos y consumos significativos considerando que, contextualmente, la comprensión de los consumos energéticos y su abordaje en pos de la eficiencia tiene asociado un elevado grado de dificultad.

En este sentido, la guía de herramientas aplicables a la implementación de un sistema de gestión energético con base en la ISO 50001:2018 ha considerado los aspectos relevantes del marco teórico en torno a la gestión del consumo energético, con especial énfasis en la necesidad de contar con técnicas específicas de mayor y menor complejidad en la etapa de planificación del sistema, como particularidad que define al mencionado estándar internacional.

## **8.2 Buenas prácticas y recomendaciones asociadas a la aplicación del diseño**

Las recomendaciones de herramientas aplicables a la implementación de un sistema de gestión energético pueden considerarse útiles para implementar un sistema de gestión energético, dado que proveen una definición clara acerca de las técnicas apropiadas en el abordaje de cada requisito.

Por otra parte, se han detectado puntos positivos de las mencionadas recomendaciones en tanto aportan un marco aplicable no solo a los sistemas de gestión energéticos, sino también a otros ámbitos de la gestión considerando que se han definido técnicas acordes a la estructura de alto nivel que comparten los estándares de procesos para puntos comunes, y que las herramientas poseen distintos grados de complejidad para adaptarse a la capacidad de gestión y disponibilidad de información de las organizaciones. En este sentido, si bien el objetivo fue desarrollar una recomendación aplicable a la

industria del vidrio plano para la construcción, el análisis podría ajustarse, con base en los criterios, a procesos de diversas características.

Tomando el caso de estudio con el objetivo de desarrollar la validación en el capítulo 7, se ha podido demostrar que las herramientas aplicables a la revisión energética, calificadas con el mayor nivel de dificultad, han sido aplicables para el grado de información técnica y capacidad de gestión de la organización en torno al proceso. Adicionalmente al análisis de aplicabilidad, es posible demostrar que la disponibilidad de datos precisos y confiables permiten obtener conclusiones y recomendaciones certeras sobre la gestión de los usos y consumos significativos de la organización, como resultado del ensayo de diversas configuraciones para variables relevantes que inciden en el consumo energético.

Concretamente, en el estudio se ha optado por analizar la operación del horno de fusión de vidrio flotado, en tanto el proceso de revisión energética desarrollado ha demostrado que es el principal uso y consumo significativo. En base a la información se construyó una línea de base energética con las toneladas de vidrio producidas como variable independiente que incide sobre la variable de respuesta: consumo de energía. Obteniendo como resultado el factor de correlación  $R^2=0,71$  y un valor "P" $=1,2504 E-06$ , se logró demostrar que el tonelaje incide en la respuesta de consumo, y por ende es válido desarrollar los factores que se asocian a las toneladas producidas con el objetivo de reducir la cantidad de energía empleada en el proceso.

Tomando como base el análisis específico de consumo energético segregado por fuente, se optó por trabajar en la incidencia de las variables sobre el consumo de gas natural, y en base a los diagramas de operación y la consulta a expertos se toma en consideración el análisis de la cantidad de carga que ingresa al horno de fusión, la energía eléctrica que se combina en el proceso de fundición a través de boostings, y la proporción de vidrio molido que se combina con la carga. Entendiendo, a través de un análisis multivari, que las tres variables tienen incidencia significativa en el consumo de gas natural, se desarrolló un DOE de tres factores en dos niveles. Este ensayo ha podido demostrar, con significancia estadística, que la carga y el uso de boosting son las variables que producen mayores alteraciones en el consumo de la mencionada fuente energética.

En base a los resultados obtenidos, y en nuevas consultas a los expertos, se definen valores óptimos para las variables en estudio, siendo: Porcentaje de cascote: 11%;

Potencia de boosting eléctrico: 1,9 MWH; Carga del horno/Tonelaje: 3.605 TPW. Esta configuración, de manera teórica, resultaría en un consumo de gas natural de 3.624 M3/h, los cuales frente a los 3.898 M3/h tomados como línea de base, suponen una disminución del 7%. La definición propuesta, además, se ajustó para cada producto que conforma el mix de producción, a fin de asegurar que sea operativamente posible.

Durante los meses de julio y agosto de 2021, el horno de vidrio flotado operó en torno a las configuraciones recomendadas por el presente estudio. En este período, los valores de potencia de boosting eléctrico y porcentaje de cascote pudieron ser alcanzados, sin embargo, la carga promedio fue de 3699,6 TPW, frente a las 3605 TPW recomendadas de acuerdo con el ensayo original. Esta configuración permitió reducir un 4,5% el consumo de gas natural en el horno de fusión.

En este sentido, el caso expuesto permite materializar en términos prácticos la confirmación de la hipótesis planteada, demostrando que es posible que una organización cuya actividad principal se desarrolla por procesos con características electrointensivas puede llevar a cabo un consumo de energía de manera eficiente, sin poner en riesgo sus operaciones.

### **8.3 Limitaciones del diseño**

Si bien se ha demostrado que el diseño es aplicable para el requisito específico de planificación del sistema energético, se han detectado limitaciones en relación con la información disponible para determinados usos de la energía.

De esta manera, se ha podido verificar que en el caso de estudio ha sido posible aplicar las herramientas valoradas como más complejas dentro del esquema de ponderación trabajado para los usos y consumos significativos desarrollados en el apartado 6.1. Sin embargo, en dicho proceso de revisión se han detectado puntos de consumo en diversos procesos de la actividad de la organización con información escasa, o bien, estimada, para los cuales no sería posible aplicar técnicas avanzadas de análisis considerando que la confiabilidad de la información forma parte de su criterio central.

Como resultado, la recomendación podría no ser aplicable a procesos en los que el resultado de la revisión energética inicial arroje como conclusión que los usos y consumos significativos estén asociados a actividades que no disponen de datos específicos o confiables de consumo.

## CAPÍTULO 9 - CONCLUSIONES

### 9.1 Aportes socio-ambientales de la investigación

En el año 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, en la cual se definieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y 169 metas asociadas a ellos para llamar a las naciones del mundo, y a diversos actores, a aportar a la sostenibilidad social, económica y ambiental. En este marco, se presentó el ODS 7, denominado: “Energía asequible y no contaminante”, el cual busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura sostenible y moderna para todos los habitantes del planeta. La ONU (2021) destaca que, entre otras problemáticas asociadas al acceso a la energía, la energía es el factor que contribuye principalmente al cambio climático y representa alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.

Una de las metas del ODS 7 es “De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de eficiencia energética”. En este sentido, el aporte de los sistemas de gestión de energía aplicados a las organizaciones, y, en consecuencia, el presente trabajo de investigación con su diseño y validación resulta sumamente relevante, dado que su objetivo principal es que la operación en su conjunto sea más eficiente (a través de la optimización del bien y sus recursos asociados). Dicha optimización puede venir dada a través de acciones de cooperación, transición a energías limpias o renovables, inversiones o bien, como se ha demostrado en el presente trabajo, a través del estudio y redefinición de variables operativas de los procesos. La implementación de estrategias que permitan optimizar el consumo energético en el sector industrial tiene un aporte sumamente relevante en la sustentabilidad, dado que el principal beneficio asociado a ello es la reducción de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. En este sentido la huella de carbono, y por ende el impacto ambiental de la actividad, se reducen.

Por otra parte, la búsqueda de la eficiencia energética en las organizaciones genera en el entorno una demanda de nuevas maneras de generar y acceder a la energía, una vez que la redefinición de los procesos, en los sistemas de gestión maduros, requieren de cambios más profundos, o bien, de innovación, para seguir mejorando. En este sentido, el aporte del presente trabajo se considera relevante para que las organizaciones que apliquen las recomendaciones y los requisitos de las normas ISO 50001 sean parte del contexto que demanda, en el mediano y largo plazo, cambios profundos en lo que se

refiere a cambios en las fuentes de generación de energía, diversificación, y sustentabilidad, como parte de la búsqueda de la mejora continua.

## **9.2 Conclusiones de la investigación y su validación práctica**

En base a las discusiones sobre los resultados obtenidos desarrollados en el capítulo 7, es posible concluir que la hipótesis planteada para el presente trabajo de tesis de maestría pudo ser validada mediante el trabajo realizado. Para determinarlo, se analizó la operación del horno de fusión de vidrio flotado de la empresa VASA (Buenos Aires, Argentina), dado que la revisión energética desarrollada ha demostrado que es el principal uso y consumo significativo de energía de sus procesos productivos. Luego, se optó por trabajar en la incidencia de las variables sobre el consumo de gas natural, las cuales fueron: porcentaje de cascote (vidrio molido) empleado en la producción, potencia de boosting eléctrico y tonelaje del horno. Sobre las mismas se aplicaron técnicas estadísticas que permitieron entender el aporte de cada una sobre el consumo general y desarrollar, junto a expertos del proceso, una recomendación de configuración para optimizar el consumo de gas natural en requisitos productivos similares, que resultaba en una mejora del 7%. Posteriormente, la configuración se ajustó a la práctica de la operación (en el período julio-agosto 2021), y se obtuvo una mejora real del 4% de consumo de gas natural respecto a la línea de base.

En conclusión, pudo ser demostrado que, aun cuando el proceso principal de fabricación de vidrio plano para la construcción posee características que además de ser electrointensivas requieren de suministro energético permanente, es posible aplicar técnicas de análisis para conocer las variables de mayor relevancia y para estimar escenarios que permitan establecer recomendaciones operativas. En estos términos, es posible mejorar el desempeño energético sin poner en riesgo el proceso o la calidad del producto final.

Por otro lado, durante el abordaje del marco teórico se pudo evidenciar que, en términos energéticos, la aplicación de los sistemas de gestión no se encuentra ampliamente difundida. El aporte de las recomendaciones para abarcar los requisitos normativos del estándar internacional parece ser, en este sentido, un recurso útil para proporcionar un marco apropiado para que las organizaciones de procesos complejos puedan considerar la implementación de ISO 50001:2018.

La aplicación práctica de las mencionadas recomendaciones ha constituido el elemento de confirmación de la hipótesis planteada.

Para elaborar dicha recomendación, se realizó una recopilación de las herramientas aportadas por la bibliografía y el abordaje de marco teórico considerando las necesidades de cada requisito normativo definido por el estándar ISO 50001:2018. Posteriormente, dichas herramientas fueron valoradas en base a criterios definidos que permiten caracterizar su dificultad de aplicación, y adicionalmente, fueron vinculadas según fueran aplicables a los requisitos mencionados.

En segunda instancia, se valoró la capacidad de gestión de la organización que representa el proceso bajo estudio en base a sus características, empleando criterios equivalentes al sistema de ponderación diseñado para las herramientas. De esta manera, se ha podido comparar la valoración de las herramientas aplicables a cada requisito, con la propia de la respuesta de la empresa para gestionar cada requisito. Como resultado, se obtuvo una recomendación acerca de qué herramientas son aplicables a cada punto de la norma ISO 50001:2018.

Finalmente, se procedió a la validación de la propuesta para las herramientas más complejas identificadas para el requisito de planificación, considerado el más representativo de la gestión energética, en base al resultado de la revisión energética de la actividad de la organización en estudio.

### **9.3 Aportes del diseño del sistema a la industria bajo análisis**

La definición de las herramientas aplicables, y, en adición, la validación de las herramientas estadísticas mencionadas, han permitido confirmar la hipótesis anteriormente planteada.

La identificación de herramientas de diversos grados de complejidad, de acuerdo con sus requerimientos y el estado de la información y gestión, proporciona un marco de orientación concreta para el abordaje de cada requisito del estándar. El aporte puede ser considerado trascendente al proceso exclusivo de la fabricación del vidrio plano para la construcción, ya que la autoevaluación de la capacidad de gestionar de las organizaciones de cualquier rubro puede aportar una orientación sobre las herramientas a emplear para implementar un sistema de gestión energético.

La validación de la aplicación de las herramientas complejas a un caso de consumo electrointensivo real, en un entorno desafiante, ha permitido evidenciar el enorme impacto que la configuración de las variables operativas puede tener en términos de consumo energético con su consecuente impacto en el medio ambiente, considerando las características de la matriz energética argentina abordada en el marco teórico.

La guía de herramientas propuestas para la implementación del sistema de gestión energético proporciona una justificación para la asignación de recursos en materia técnica y de formación, una vez que se ha demostrado que la aplicación de herramientas complejas en combinación con la disponibilidad de datos técnicos puede conducir a un análisis y abordaje completo para los usos y consumos significativos, incluyendo el análisis de escenarios, sobre los cuales se sientan las bases de la planificación.

#### **9.4 Recomendaciones o consideraciones para el futuro**

Primeramente, cabe destacar que la guía de herramientas recomendadas para la implementación del sistema de gestión de energía ha sido aplicable para el proceso de planificación energética, siempre y cuando las consideraciones que se han tomado al momento de realizar la valoración para definir la aplicabilidad a distintas capacidades de gestión sean abordadas. La experiencia ha indicado que una misma guía puede no ser aplicable para todos los procesos de la organización, dependiendo de su estado de información y disponibilidad de datos técnicos. En este sentido, merece la pena reevaluar la capacidad de gestión al relevar los usos y consumos significativos en el momento que sea aplicada.

Se considera que un futuro trabajo de investigación debería abordar la posibilidad de generar distintos escenarios cuando existen disparidades en la disponibilidad de datos dentro de una misma actividad, con el objetivo de que la recomendación pueda ser utilizada una vez que los resultados del estudio de los usos y consumos significativos comiencen a cambiar como resultado de la propia gestión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aledo, A., & Domínguez Gómez, J. A. (2001). *Sociología ambiental*. Grupo Editorial Universitario.
- Arroyo, Andrés. (2017). El gran impulso ambiental en el sector de la energía. CEPAL.
- Berenguer-Ungaro, M. R., Hernández-Rodríguez, N. R., de los Angeles Reina-González, M., & Estrada-Hernández, J. A. (2017). Consideraciones sobre los factores que limitan la gestión de la eficiencia energética en las organizaciones de Santiago de Cuba. *Santiago*, (143), 299-316
- Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2006). *Gestión de la calidad*. Madrid: Pearson Educación.
- Campos Avella, J. C., Prías Caicedo, O. F., Quispe Oqueña, E. C., Vidal Medina, J. R., & Lora Figueroa, E. D. (2008). El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional.
- Castrillón Mendoza, R. D. P., Monteagudo Yanes, J. P., Borroto Nordelo, A., & Quispe Oqueña, E. C. (2015). Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos.
- CEPAL. (2017). Energía, cambio climático y desarrollo sostenible: los desafíos para América Latina. México. CEPAL.
- Chapman, A. (2004). Análisis DOFA y análisis PEST. *Accesible en: <http://www.degerencia.com/articulos.php>*.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Naciones Unidas, Río de Janeiro, 1992.
- Cortés, E. A., & Villamizar, G. O. (2000). *Apuntes sobre energía y recursos energéticos*. UNAB.
- de Desarrollo, B. I. (2017). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: Avances y oportunidades.
- Dirección Nacional de Eficiencia Energética. (2019). Informe de gestión 2016-2019.
- Economía & Energía. (2018). Competitividad y Costo de la Energía.
- Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en medición*, 6(1), 27-36.
- Flores, L., & Jáuregui, I. (2020). Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001: 2018. *México: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Conuee*.

- García S. y Carbajal V. (2013). “Implementación de un sistema de gestión energética en base a la norma ISO 50001 para la empresa “LA IBÉRICA”. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería de la Escuela Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 242 p.
- Girón Matta, R. E. (2019). Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento predictivo utilizando herramientas de gestión ISO 50001 para reducir las fallas por mala calidad de energía eléctrica (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Graña, J. M. (2015). Evolución comparada del sector industrial argentino y estadounidense, entre el rezago productivo y el deterioro salarial. *H-industri@: Revista de historia de la industria, los servicios y las empresas en América Latina*, (17), 34-63.
- Guerrero Ponce, P. C. (2017). Base de conocimiento de la gestión de energía.
- ISO 14001. (2015). Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 14040. (2008). Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- ISO 31010. (2015). Sistema de Gestión del Riesgo – Técnicas de evaluación del riesgo.
- ISO 50001. (2018). Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 50006. (2017). Sistemas de gestión de la energía - Medición del desempeño energético utilizando líneas de base energética (LBEns) e indicadores de desempeño energético (IDEns) - Principios generales y orientación.
- Ministerio de Energía. (2018). Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGE). Casos argentinos: Mastellone Hnos.
- NSG Energy Committee. (2015). Energy Indicators.
- Nurhadi, L., Borén, S., Ny, H., & Larsson, T. (2017). Competitiveness and sustainability effects of cars and their business models in Swedish small town regions. *Journal of Cleaner Production*, 140, 333-348.
- Peng, W. (2010, January). Reducing carbon emissions in precast concrete production through the lean production philosophy. In 5th International Conference on

- Responsive Manufacturing-Green Manufacturing (ICRM 2010) (pp. 294-299). IET.
- Peña, A. C., & Sánchez, J. M. G. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. AENOR.
- Pineda, A. H., Vázquez, G. E. C., Díaz, L. F., & Granados, R. D. S. (2014). Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía (Luis Martín Gómez Rocha, Vicente Guillermo López Maldonado, Ana Delia Córdova Pérez, Ana Mariela ed.). *Mexico DF, Mexico DF: Conuee/GIZ*.
- Project Management Institute, Inc. (2013). Guía de fundamentos para la dirección de proyectos.
- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; Naciones Unidas, Kyoto, 1997.
- Ramírez Rojas, J. L. (2017). Procedimiento para la elaboración de un análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica en las empresas.
- Rogner, H. H., Langlois, L., & McDonald, A. (2001). Keeping options open. Energy, technology and sustainable development. *IAEA Bulletin*, 43(3), 35-42.
- Rojas-Rodríguez, D. B., & Prías-Caicedo, O. (2014). Herramientas Lean para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001. *Energética*, (44), 49-60.
- Ruiz Caro, A. (2006). *Cooperación e integración energética en América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Ruiz Caro, A. (2006). *Cooperación e integración energética en América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Rukikaire, K. y Sasse J. (2021). Estocolmo+50: reunión internacional para acelerar la acción por un planeta sano y próspero para todos. UNEP. Recuperado el 4 de octubre de 2021 en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/estocolmo50-reunion-internacional-para-acelerar-la>
- Sbroiavacca, H. D., Lallana, F., Nadal, G., & Pistonesi, H. (2021). “Eficiencia Energética en Argentina”, apostando por conformar un sector energético más sostenible y eficiente en Argentina.
- Velázquez Elizarrarás, Juan Carlos. (2009). El nuevo derecho internacional de la energía a través del estudio de sus fuentes y el ordenamiento del mercado mundial del petróleo en un contexto geopolítico-especulativo. *Anuario mexicano de derecho internacional*, 9, 631-675. Recuperado en 27 de enero de 2021, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-46542009000100021&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-46542009000100021&lng=es&tlng=es).

Viloria, B. (2015). Fundamentos de la estructura de alto nivel. *El nuevo enfoque de los sistemas de gestión ISO*, 14.

Zanoni, J. R. (2005). La integración energética latinoamericana. Recuperado el 10 de febrero de 2021, de <https://library.fes.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/5783>.

## ANEXO I: TABLAS DE VALORES HISTÓRICOS DE CONSUMO DEL HORNO DE FUSIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LA LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA

Tabla Auxiliar N°1: Valores de consumo energético y configuración de variables operativas para el período octubre 2017-noviembre 2020 (Exceptuando abril y mayo 2020)

Mes	Electric Boost MW	Main Gas M3/hr	Gas Oxyboost M3/hr	Gas total M3/hr	Load (Tn/w)	Cullet
nov-17	2,94	3493	221	3714	3842	9,7
dic-17	3,12	3543	218	3761	3525	9,0
ene-18	0,91	3555	56	3611	3906	12,8
feb-18	2,57	3673	208	3881	3916	11,3
mar-18	3,73	3357	220	3577	3486	10,1
abr-18	1,50	3628	88	3716	3912	11,4
may-18	2,71	3659	141	3800	3942	10,4
jun-18	1,95	3823	124	3947	3553	11,9
jul-18	3,55	3956	190	4146	3869	11,1
ago-18	2,38	3485	193	3678	3633	12,0
sep-18	3,03	3494	226	3720	3956	10,8
oct-18	1,21	3627	112	3739	3805	15,2
nov-18	2,29	3511	224	3735	3870	14,1
dic-18	1,95	3485	152	3637	3512	15,1
ene-19	1,58	3206	110	3316	3802	14,0
feb-19	2,02	3417	220	3637	3639	11,5
mar-19	2,30	3570	172	3742	3289	19,1
abr-19	2,60	3541	229	3770	3739	11,6
may-19	1,94	3543	142	3685	3734	10,0
jun-19	2,62	3478	227	3705	3874	12,6
jul-19	2,96	3447	227	3674	3609	11,4
ago-19	2,17	3490	143	3633	3816	11,8
sep-19	2,01	3469	189	3658	3879	13,2
oct-19	2,97	3486	204	3690	3647	9,5
nov-19	0,80	3556	137	3693	3698	11,2
dic-19	3,07	3496	224	3720	3850	13,5
ene-20	2,35	3540	151	3691	3484	9,6
feb-20	2,00	3520	180	3700	3871	13,1
mar-20	2,03	3492	220	3712	3673	11,8
jun-20	1,86	3530	209	3739	3758	17,4
jul-20	2,05	3571	220	3791	2850	20,0
ago-20	2,59	3548,6	221,8	3770,4	3769	15,7

Diseño de un sistema de gestión de energía

sep-20	2,27	3509	220	3729	3879	13,4
oct-20	2,54	3514	220	3734	3853	11,7

Tabla auxiliar N°2: Valores normalizados de consumo energético y configuración de variables operativas para el período octubre 2017-noviembre 2020

Mes	Main Gas m3/hr	Gas Oxyboost m3/hr	Boosting MW	Load (Tn/w)	Cullet
nov-17	3493	221	2,94	3842	9,7
dic-17	3543	218	3,12	3525	9,0
abr-18	3628	88	1,50	3912	11,4
may-18	3659	141	2,71	3942	10,4
ago-18	3485	193	2,38	3633	12,0
sep-18	3494	226	3,03	3956	10,8
oct-18	3627	112	1,21	3805	15,2
nov-18	3511	224	2,29	3870	14,1
dic-18	3485	152	1,95	3512	15,1
feb-19	3417	220	2,02	3639	11,5
mar-19	3570	172	2,30	3289	19,1
abr-19	3541	229	2,60	3739	11,6
may-19	3543	142	1,94	3734	10,0
jun-19	3478	227	2,62	3874	12,6
jul-19	3447	227	2,96	3609	11,4
ago-19	3490	143	2,17	3816	11,8
sep-19	3469	189	2,01	3879	13,2
oct-19	3486	204	2,97	3647	9,5
dic-19	3496	224	3,07	3850	13,5
ene-20	3540	151	2,35	3484	9,6
jun-20	3530	209	1,86	3758	17,4
ago-20	3548,6	221,8	2,59	3769	15,7
sep-20	3509	220	2,27	3879	13,4
oct-20	3514	220	2,54	3853	11,7